

2ij. 57



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DESARROLLO DE METODOLOGIA PARA
DIAGNOSTICO ENERGETICO APLICADA
A UN INGENIO AZUCARERO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N :
GUADARRAMA LOJERO HECTOR
HERNANDEZ HERNANDEZ JULIO
SILVA TAMAYO FELIPE DE JESUS



México, D. F.

1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

INTRODUCCION	6
CAPITULO I PANORAMA ENERGETICO	
I.1 Análisis de los Balances de Energía en México	10
I.2 Comparación de los Recursos Energéticos Nacionales con los Internacionales	21
I.3 Relación Energía-PIB	29
I.4 Generalidades de la Industria Azucarera	35
CAPITULO II INDUSTRIA AZUCARERA, GENERALIDADES.	
II.1 Explicación del Proceso de Obtención del Azúcar	45
II.2 Diagrama de Flujo	57
II.3 Diagrama de Bloques	57
II.4 Diagrama de Flujo Simplificado del Ingenio Casasano	61
II.5 Características de Equipos Utilizados, Ingenio Casasano	61
CAPITULO III ANALISIS ENERGETICO DE LA PLANTA.	
III.1 Consumos de Vapor	66

III.2	Cálculos de Consumos de Vapor y Energía	68
III.2.1	Cálculos sin Considerar Pérdidas de Calor en Tuberías	69
III.2.2	Cálculos Considerando Pérdidas de Calor en Tuberías	95
III.3	Generación de Vapor	100
III.4	Producción de Energía en Calderas	102
III.5	Consumo de Energía Eléctrica	107
III.6	Generación de Energía Eléctrica	107

CAPITULO IV BALANCE DE MASA Y ENERGIA DE LA PLANTA.

IV.1	Introducción	114
IV.2	Diagrama de Masa y Energía del Uso del Vapor	114
IV.3	Consumo de Energía por Producto Terminado	122
IV.4	Comparaciones	125

CAPITULO V SUGERENCIAS DE MEJORAS ENERGETICAS EN LA PLANTA.

V.1	Propuestas para el Mejoramiento Energético	129
V.2	Breve Estudio Económico de Propuestas	134

V.2.1	Instrumentación	134
V.2.2	Aislamiento Térmico	137
V.2.3	Calor de Desperdicio	147

CAPITULO VI AUDITORIA ENERGETICA.

VI.1	Introducción	163
VI.2	Descripción de la Metodología	165
VI.2.1	Conocimiento del Proceso	165
VI.2.2	Aplicación de Cuestionarios	165
VI.2.3	Análisis de Datos	171
VI.2.4	Determinación de Parámetros a Conocer	175
VI.2.5	Visita de Campo I	178
VI.2.6	Formas de Medir Parámetros	180
VI.2.7	Visita de Campo II	181
VI.2.8	Elaboración de Balances de Masa y Energía, y Diagramas de Flujo	184
VI.2.9	Detección de Puntos de Uso Ineficiente de Energía	185

VI.2.10	Elaboración de Propuestas y Análisis Técnico Económico de Propuestas	186
VI.2.11	Conclusiones Particulares	188
VI.3	Conclusiones Generales	188
	CONCLUSIONES	189
	APENDICE	192
	BIBLIOGRAFIA	200

INTRODUCCION

I N T R O D U C C I O N

El presente estudio es producto del proyecto sobre conservación y uso eficiente de energía en México, el cual es un tema de preocupación general, no obstante esta generalidad del tema, es en su enfoque y forma de solución en donde se manifiestan diferencias marcadas, influenciadas por las necesidades que plantean los diferentes grados de desarrollo de los países, ya que los energéticos han estado invariablemente vinculados al desarrollo de los pueblos; no es exagerado afirmar que de ellos depende, en gran medida el progreso de las naciones.

La disponibilidad y consumo de energía es un indicador directo del nivel económico, social, científico y tecnológico de toda comunidad.

Los esfuerzos para hacer un mejor uso de la energía tienen sentido ya que los procesos que la requieren son capaces de utilizar diferentes consumos energéticos para un volumen de producto dado, en función del diseño, manejo de la instalación y mantenimiento.

En este estudio se dá una breve reseña de las fuentes de energía convencionales, así como su utilización final, dentro del contexto nacional e internacional. Por otro lado el estudio se enfoca principalmente a analizar el consumo de energía en una industria; con la finalidad de desarrollar una metodología o procedimiento de diagnóstico de uso eficiente de energía.

La industria seleccionada para realizar nuestro estudio y análisis -- fue la INDUSTRIA AZUCARERA; dado que es una industria altamente consu

CAPITULO 1

I.- PANORAMA ENERGETICO

I.1.- Análisis de los Balances de Energía en México.

En este punto, se hace una breve reseña histórica de como ha evolucionado en México, la generación y consumo de energía. Para llevar a cabo esto es necesario, hacer uso de los balances de energía para obtener la información deseada. Estos constituyen un marco contable que integra información estadística relativa a la producción, transformación y consumo de energía. Permiten tener una visión ordenada y de conjunto de los principales flujos de energía de un sistema determinado, por lo que son de particular utilidad, para estimar necesidades totales, elaborar proyecciones y estudiar las posibilidades de sustitución y conservación de energía. (1)

En estos balances se identifican las fuentes de energía primaria utilizadas, tanto las producidas en el país como la energía total importada; así también la etapa de transformación de energía primaria en energía secundaria, utilizándose el consumo propio del sector energético y las pérdidas atribuibles a este sector y se presenta el destino de los diversos tipos de energía secundaria para los sectores de mayor demanda. De esta manera es posible seguir los flujos más importantes desde su origen hasta su destino final.

La energía primaria, es la energía potencial contenida en los combustibles tal como se encuentra en su estado natural; las principales --

	energía primaria										energía secundaria																
	carbón		petróleo		gas natural		hidro-11		gas-11		biomasa de caña		total de energía primaria		carbón		gas natural		hidro-11		gas-11		biomasa de caña		total de energía secundaria		
	producción	importación	producción	importación	producción	importación	producción	importación	producción	importación	producción	importación	producción	importación	producción	importación	producción	importación	producción	importación	producción	importación	producción	importación	producción	importación	
0	30,537	1456,911	48,818	58,028	336,870	69,837	4,392	20,325	75,398	2006,812	4,261	9,906	14,221	9,000	1,611	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1	-2,738	2,360	---	---	---	---	---	---	---	-6,281	0,479	-0,268	-0,049	-0,442	-0,812	-0,875	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
2	27,800	1458,261	48,818	60,028	336,870	69,837	4,363	20,336	75,398	2100,531	1,266	13,962	-0,054	9,116	-0,112	8,019	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
3	---	-804,321	---	---	---	---	---	---	---	-804,321	-6,631	-8,816	-12,183	-2,337	-8,031	-16,210	-75,813	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
4	---	-0,047	-3,321	-0,579	-23,436	---	---	---	-0,487	-29,451	---	-0,032	---	---	---	-0,093	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
5	27,800	654,142	43,297	58,459	311,434	69,837	4,292	19,848	75,398	1265,260	0,954	6,344	-12,141	-2,662	-8,443	-8,214	-29,513	2,166	-2,112	-0,068	---	---	---	---	---	---	
6	-31,750	-656,884	-44,037	-42,259	-709,971	-69,837	-4,263	---	---	-1145,131	19,496	14,122	189,744	33,296	129,267	108,183	25,513	52,506	236,698	73,602	834,122	-211,994	---	---	---	---	
7	-22,841	---	---	---	---	---	---	---	---	-22,841	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
8	-60,894	-8,008	---	---	---	---	---	---	---	-69,902	0,132	20,242	168,388	31,266	131,664	291,948	24,811	79,212	5,219	---	---	---	---	---	---	---	
9	-8,907	-32,028	-42,259	-709,971	-69,837	-4,263	---	---	---	-83,132	42,760	30,944	---	---	-7,754	-123,236	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
10	-0,120	---	-1,498	-13,227	---	---	---	---	---	-16,846	-0,013	-0,945	-7,106	4,811	1,160	-19,614	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
11	0,081	5,658	0,740	---	---	---	---	---	---	6,456	0,151	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
12	0,281	2,913	---	---	-2,136	---	---	---	---	-5,202	-0,164	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
13	---	---	11,701	---	---	---	---	19,848	75,398	100,941	12,600	69,521	169,638	25,813	105,496	79,275	---	54,294	146,810	80,524	741,136	84,111	---	---	---	---	
14	---	---	---	---	---	---	---	2,242	---	2,242	0,129	---	17,440	0,064	---	2,371	---	14,294	22,255	---	0,154	---	---	---	---		
15	---	---	---	---	---	---	---	2,242	---	2,242	0,129	---	16,816	---	---	2,371	---	13,873	22,255	---	32,661	---	---	---	---		
16	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,129	---	0,076	0,064	---	2,371	---	20,431	---	---	31,990	---	---	---	---		
17	---	---	11,301	---	---	---	---	17,806	15,398	104,795	19,377	69,521	152,298	25,319	107,429	79,064	---	---	133,054	60,424	643,028	64,369	---	---	---		
18	---	0,823	---	---	---	---	---	---	---	18,203	---	83,819	---	5,372	---	4,140	---	---	8,162	---	36,861	---	---	---	---		
19	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	11,614	157,261	14,211	72,111	4,140	---	---	---	---	5,520	---	---	---	---		
20	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,319	0,007	4,831	---	---	---	---	---	0,092	4,377	---	---	---	---		
21	---	---	10,786	---	---	---	---	17,806	---	28,274	19,377	3,732	---	9,368	13,520	82,811	---	---	127,467	25,242	20,112	---	---	---	---		
22	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	45,344	0,413	45,937	---	---		
23	---	---	10,168	---	---	---	---	17,806	---	27,374	19,377	3,732	---	9,368	13,520	82,811	---	---	127,467	25,242	21,244	---	---	---	---		

1 se refiere a carbón mineral coqueable y al todo uno no coqueable.
 2 incluye el contenido recuperado en producción.
 3 no contiene carbón vegetal.
 4 cargo varían de 28 grados sol.
 5 aceites, lubricantes, grasas, parafinas, etano, propano, propanol, butano, octileno, acetileno y metano prima para negro de humo.

6 incluye gas residual y gas seco de refinación.
 7 generación accidental de petróleo crudo y gas natural de producción secundaria enviado a la similitud y biogás de caña.
 8 incluye consumo dentro del sector eléctrico y las pérdidas por transformación, distribución y almacenamiento de productos secundarios.

9 producción bruta.
 10 se refiere a la materia prima para la petroquímica básica.
 11 se refiere al consumo energético de la petroquímica básica conectado a 2577 hogares.
 12 incluye combustibles para el autoabastecimiento de energía eléctrica.

Fig. I.1.- Balance Nacional de Energía 1985 (billones de kilocalorías)

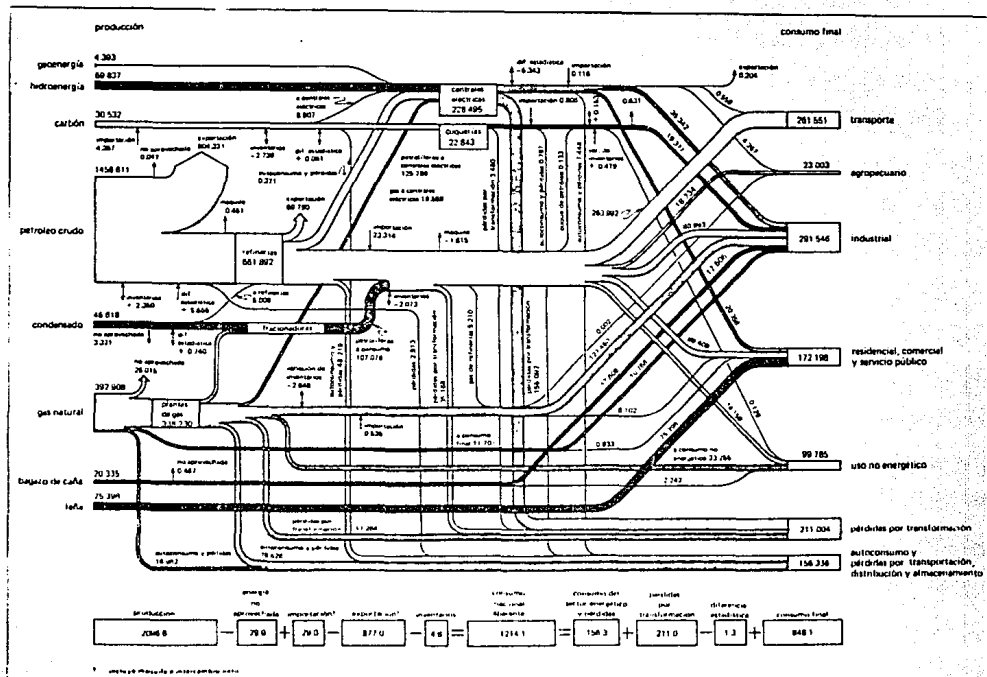


Fig. 1.2.- Flujo Nacional de Energía 1985 (billones de kilocalorías)

de 1985. (2)

Flujos de Energía.- El diagrama de flujo de energía muestra gráficamente la oferta total de ésta y su utilización. Los diferentes tipos de energía aparecen en forma de flujo a partir de su origen (del lado izquierdo del diagrama) y hasta su uso final (lado derecho). Los flujos de entrada al sistema son la producción y las importaciones mientras que los flujos de salida están constituidos por los diversos usos internos - incluyendo las pérdidas - y las exportaciones. La diferencia entre flujo de entrada y salida reflejan cambios en inventarios, que viene a ser la estimación de la energía en almacén. - Como ejemplo la fig. 1.2, muestra los flujos de energía del balance - de 1985.

La información sobre el sector energético nacional procede de los balances de energía, que se publican anualmente (ver apéndice).

La información se tomó del balance energético de 1970 y del período - 75-85; (3) realizados según la metodología y formato de la OCDE y corregidos de acuerdo al boletín "Energéticos de Nov. 1982" y de balances - de 1982-1985, publicados por la gerencia de economía energética de Petróleos Mexicanos.

En la tabla 1.1, se puede apreciar el crecimiento acelerado de la producción de energía y de las exportaciones a partir de 1976. En 1985 - la energía producida en México alcanzó el valor de 2096.632×10^{12} Kcal o sea 4.3 veces mayor que la producción del 70. Este aumento en 15 -

PRODUCCION DE ENERGIA, EXPORTACION E IMPORTACION. (MEXICO)

AÑO	PRODUCCION NACIONAL	IMPORTACION	EXPORTACION	TOTAL NECESARIO
1970	480.000	10.000	25.000	458.600
1975	678.712	35.873	62.857	641.126
1976	730.828	21.437	67.965	684.484
1977	830.963	10.946	113.253	728.522
1978	1008.755	21.772	200.441	833.393
1979	1203.339	20.652	295.464	920.445
1980	1547.859	14.465	512.934	1040.271
1981	1837.871	13.708	692.883	1146.502
1982	2139.578	40.087	945.083	1230.052
1983	2068.694	10.834	944.523	1133.505
1984	2071.061	16.597	930.784	1155.001
1985	2096.632	29.038	954.800	1171.319

Tabla 1.1

*CIFRAS EN 10^{12} kcal

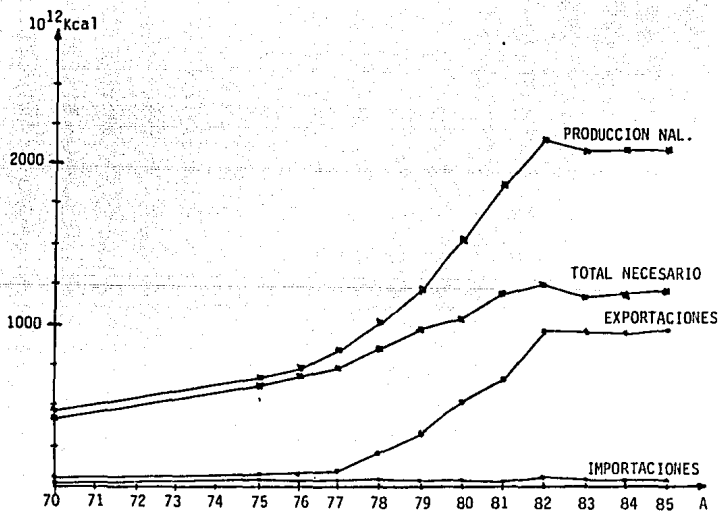


Fig. 1.3

COMPOSICION DE LA OFERTA DE ENERGIA PRIMARIA AL MERCADO NACIONAL. -

AÑO	PETROLEO	GAS NATURAL	ENERGIA ELECTRICA	CARBON	GEOTERMIA
1970	245.300	143.200	53.200	15.700	1.200
1975	386.726	183.978	47.566	21.226	1.630
1976	427.699	185.180	52.797	17.027	1.781
1977	471.515	178.082	56.145	21.035	1.785
1978	526.263	233.876	46.623	24.897	1.734
1979	571.842	270.113	51.524	24.026	2.940
1980	674.349	290.406	48.640	24.259	2.617
1981	722.346	329.119	70.225	22.054	2.758
1982	769.446	367.422	62.967	26.627	3.590
1983	694.739	350.071	55.425	29.620	2.650
1984	735.392	322.723	63.822	30.184	3.600
1985	697.439	366.893	69.837	32.837	4.393

Tabla 1.2

*CIFRAS EN 10^{12} Kcal

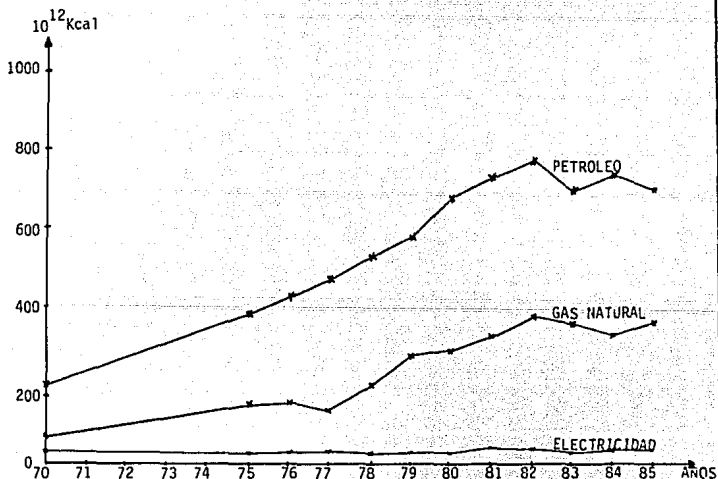


Fig. 1.4

años corresponde a una tasa de crecimiento anual promedio del 10.3%.

En la tabla 1.2, se muestra la composición de la oferta de energía -- primaria al mercado nacional; se aprecia que la dependencia de los hidrocarburos ha ido en aumento, del 86% de la oferta total en 1970 a -- pasado al 91.2% en 1985.

El explosivo aumento en el consumo de energía destinada al mercado nacional que se utiliza en México y su uso indiscriminado, tiene como -- explicación general la dinámica que se le imprimió al proceso de crecimiento una vez que se conoció la amplitud de sus reservas. Desde -- el segundo quinquenio de los 70's y hasta que los problemas económicos que afrontaba el país se hicieron evidentes, se acudió al petróleo como uno de los pilares de la pretensión de convertir a México, en una potencia económica. Para esto se realizó una extracción masiva de petróleo, pues significaba la obtención de un excedente exportable y la posibilidad de seguir ofreciendo internamente la energía a precios subsidiados. Los precios bajos de los hidrocarburos promovieron su consumo excesivo; las gasolinas baratas fomentaron el uso inadecuado del transporte individual, a la vez que los precios bajos de la energía -- para la industria provocaron, en parte, la sustitución de trabajo humano por energía pero, sobre todo el uso ineficiente de la misma. (4)

La proporción de energía destinada al mercado nacional que se utiliza en el consumo propio y las pérdidas del sector energético habían aumentado gradualmente, como puede verse en la tabla 1.3. En 1970 representaba el 40%, en 1982 representaba el 41.5%, en 1985 se nota una

ENERGIA DESTINADA AL MERCADO NACIONAL.-

AÑO	CONSUMO PROPIO Y PERDIDAS DEL SECTOR ENERGETICO	CONSUMO FINAL AL MERCADO NACIONAL	CONSUMO TOTAL
1970	184.000	270.600	458.600
1975	284.305	392.821	641.126
1976	255.076	429.408	684.484
1977	284.474	444.048	728.522
1978	337.496	495.895	833.393
1979	375.818	544.627	920.445
1980	444.706	595.565	1040.271
1981	489.583	656.919	1146.502
1982	510.460	719.592	1230.052
1983	422.458	711.047	1133.505
1984	450.293	697.708	1156.001
1985	448.096	718.133	1166.229

Tabla 1.3

*CIFRAS EN 10^{12} Kcal

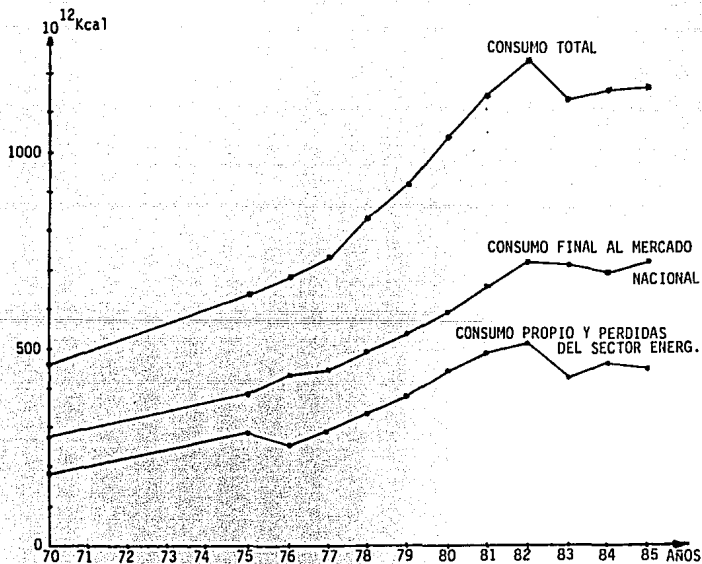


Fig. 1.5

CONSUMO FINAL DEL MERCADO NACIONAL.- (MEXICO)

ARO	TRANSPORTE *	INDUSTRIA *	OTROS SECTORES * (RESIDENCIAL, ETC.)	NO ENERGETICOS *
1970	108.300	102.000	46.000	14.300
1975	154.172	139.993	68.844	29.812
1976	166.814	152.952	74.575	35.067
1977	175.458	154.656	76.796	37.138
1978	190.436	174.817	86.068	44.574
1979	215.723	186.057	93.422	49.425
1980	241.883	194.156	103.659	55.867
1981	269.436	204.998	110.735	71.750
1982	272.955	260.273	116.499	68.865
1983	245.165	277.619	111.440	76.823
1984	252.564	246.878	114.138	84.128
1985	261.551	263.172	95.867	97.543

*CIFRAS X10¹² Kcal.

Tabla 1.4

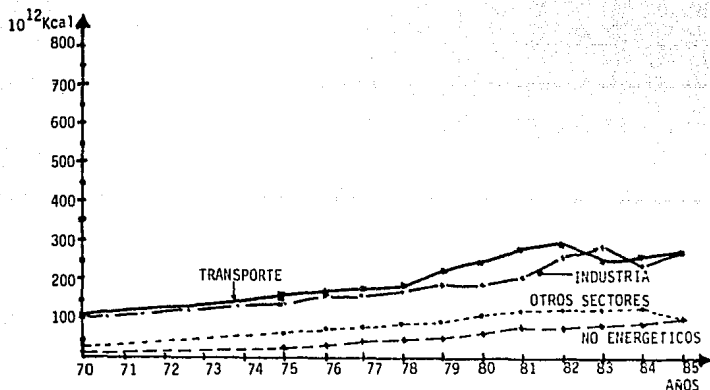


Fig. 1.6

disminución del consumo de energía con un valor del 38.5%. Por lo se observa que se están empezando a tomar medidas encaminadas a hacer más eficiente el sector de transformación de energía primaria en secundaria.

Por último en la tabla 1.4, se muestra la evolución del consumo final del mercado nacional en el período considerado. Vemos que de todos los sectores, los que sobresalen en el consumo de energía son el sector transporte y el sector industrial.

El sector transporte del país es de un alto grado de ineficiencia en el consumo de energía: esta formado abrumadoramente por vehículos que consumen gasolinas; la concentración de la actividad económica en unas cuantas ciudades ha aumentado el congestionamiento del tránsito y el transporte particular a crecido mucho más que el colectivo. El sector industrial es un gran consumidor de energía debido a la utilización de tecnologías obsoletas, que son altamente consumidoras de energía.

Situación Energética Actual en México.

De los datos del balance de energía del año 1985, nos permite realizar un diagnóstico de los principales problemas del sector energético de México. En primer lugar debe señalarse, que casi la mitad de la energía primaria producida en el país se exporta en forma de petróleo crudo, disminuyendo así la disponibilidad futura de este recurso no renovable para el mercado nacional. En segundo lugar resalta la gran dependencia del mercado nacional de energía con respecto a los hidrocarburos, que representan el 91.2% de la oferta de energía a dicho -

mercado. En tercer lugar el balance muestra que el consumo propio y - las pérdidas del sector energético alcanzan el 38.4% de la energía que va al mercado nacional, quedando el 61.6% restante para el consumo final de los diferentes sectores consumidores. Además los datos sobre - consumo final que proporciona el balance de energía muestra un consumo muy elevado de los sectores industrial y transporte, que requieren el 36.6% y 36.4% respectivamente de la energía destinada al consumo final del mercado nacional.*

Finalmente, de acuerdo al Programa Nacional de Energéticos 1984-1988, para este período la producción nacional de energía primaria registrará un ritmo de crecimiento medio anual de 2.8% y 3.8%. Para el consumo interno se proyecta un crecimiento medio anual de 5.0% y 5.5%. El predominio de los hidrocarburos seguirá manteniéndose entre el 90%-92% del total de la energía primaria producida.⁽⁵⁾

I.2.-Comparación de los Recursos Energéticos Nacionales con los Internacionales.

Se trata de analizar, cuales han sido las producciones y consumos de energía comercial (combustibles: sólidos, líquidos y gas; y a la electricidad), en algunos países, así como también la demanda de energía por sectores.

La diferencia que existe en crecimiento, industrialización y consumo -

* NOTA: Se hace análisis del año 1985, debido a que el balance de energía de 1986, no se ha publicado.

de energía de México, en comparación con los mismos aspectos en otros países, aporta elementos para precisar si México debe considerarse como un país que usa ineficientemente su energía en el contexto internacional. Cabe aclarar que los resultados de este trabajo comparativo se debe tomar como hipótesis, sujetas a estudios más detallados. Las limitaciones primordiales son debidas a las fuentes de información -- con las que se cuenta y además el análisis de la misma queda fuera de los objetivos del presente trabajo.

Producción de Energía Comercial.

En la tabla 1.5*, podemos observar cual ha sido el comportamiento -- de algunos países en lo que se refiere a la producción de energía.

México ocupa uno de los primeros lugares dentro de los países productores de energía primaria, debido a sus grandes reservas de hidrocarburos. En cambio si analizamos a la U.R.S.S. o E.U.A., los cuales ocupan el 1er. y 2do. lugar respectivamente en la producción de energía, no es porque produzcan más hidrocarburos, sino porque tienen una producción más diversificada de sus diferentes fuentes de energía.

Si nos ponemos a analizar los demás países, observamos comportamientos semejantes al nuestro o al de EUA o URSS. Esto se caracteriza -- por el grado de desarrollo de cada país; es decir estos comportamien

* NOTA: Debido a las diversas fuentes de información a que se recurrirán existirán diferencias de una a otra para un mismo -- caso.

Tabla 1.5

Producción de Energía Primaria 10^{12} Kcal

<u>P a í s</u>	<u>80</u>	<u>81</u>	<u>82</u>	<u>83</u>
U.R.S.S.	13551.0	13802.0	14147.0	14458.0
U.S.A.	14319.0	14200.0	14005.0	13332.0
México ¹	1368.7	1624.1	1864.7	1819.1
India	749.69	934.33	1026.6	118.5
Australia	790.72	872.37	912.84	947.9
Sudáfrica	654.63	741.37	716.94	741.2
Francia	352.08	894.14	379.75	399.16
Argentina	357.93	366.83	377.9	397.41
Brasil	241.44	260.96	298.87	351.76
Japón	295.82	295.51	303.87	306.67
España	148.72	160.96	178.01	194.05

Fuente: Energy Statistics No.1
First Quarter 1986

tos tienen una interrelación con el avance tecnológico de cada uno.

Por lo que respecta a la generación de electricidad, esta es generada principalmente por nuestras plantas termoeléctricas e hidroeléctricas; en 1983 del total de energía eléctrica generada, el 21.2% corresponde a la generada en plantas hidroeléctricas, el 77.3% a la correspondiente en termoeléctricas y finalmente al 1.5% fue generada en las plantas geotérmicas. En otros países como EUA y URSS, cuentan con plantas; -carboeléctricas, nucleoeeléctricas y geotérmicas; además de las termoeléctricas e hidroeléctricas con lo cual es notorio que no dependen de combustibles petrolíferos para su generación eléctrica como los países subdesarrollados.

Consumo de Energía Comercial.

De la tabla 1.6, podemos observar que el consumo de energía en los E.U.A., ha ido en decremento en estos últimos años, esto se debe a que han puesto en marcha programas sobre el uso eficiente y conservación de la energía, al igual que Japón, Brasil y España principalmente.

En cambio países como el nuestro, India y URSS, tienen tendencias hacia el incremento. Pero para poder determinar si un país está utilizando ineficientemente su energía es necesario compararlos con sus productos internos brutos de cada uno, como se verá más adelante.

Demanda de Sectores.

En esta parte se pretende hacer una breve descripción de la forma en

Tabla 1.6

Consumo Total de Energía Comercial en el Mundo (Kcalx10¹²)

<u>P a í s</u>	<u>80</u>	<u>81</u>	<u>82</u>	<u>83</u>
E.U.A.	16551.35	16092.28	15354.18	15223.68
U.R.S.S.	10312.0	10559.61	10968.4	11280.66
Japón	3043.81	2981.19	2866.24	2827.0
Francia	1660.79	1579.98	1492.55	1457.15
India	975.6	1041.72	1102.9	1184.83
México	830.2	908.81	920.0	912.62
Sudáfrica	631.0	678.41	674.95	699.165
Australia	638.3	649.2	666.35	644.27
Brasil	647.43	609.78	608.08	599.82
España	618.62	607.9	617.2	572.71
Argentina	345.08	334.84	341.0	356.23

Energía Comercial, Sólidos, líquidos, gas y electricidad.

Fuente: Energy Statistics No.1
First Quarter 1986.

que se consumen los distintos energéticos en México y otros países, dentro de los principales sectores consumidores de energía.

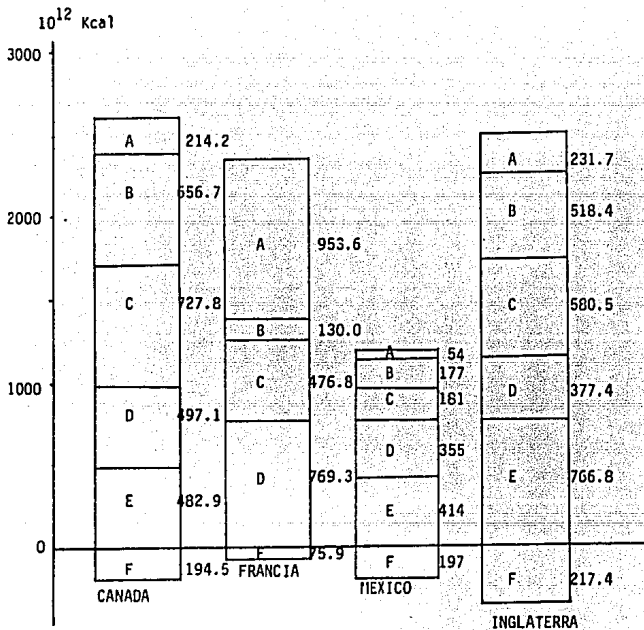
La demanda por sectores para 1985, se indican en la fig. 1.7 en billones de Kcal y la fig. 1.8 muestra la estructura porcentual de la misma.

En esta se observa que México no varió su estructura de consumo en forma drástica ya que solo disminuyó de 27.5% a 26.1% su participación en transporte, aumentó en 2% la del sector industrial, 1.5% su sector comercial y disminuyó el uso no energético de 4% a 3.6%.

Por otro lado a los países señalados EUA, Francia, México y el Reino Unido tuvieron una participación del mismo orden en el sector industrial, en transporte México siguió teniendo el más alto porcentaje - seguido por EUA, y en el sector comercial México y el Reino Unido tuvieron la más baja participación. En el sector transporte el potencial de uso eficiente de energía depende en gran medida a las acciones gubernamentales en cuanto a los impuestos sobre los combustibles y vehículos, y de las condiciones de competencia de los transportes masivos. Así mismo el consumo crecerá rápidamente debido al desarrollo sostenido que tienen los trenes eléctricos y los sistemas electrificados de transporte urbano.

En el sector industrial la demanda de combustible continuará observando la tendencia histórica hacia la disminución. Aunque esto se logrará dependiendo en gran medida de la forma en que evolucionen --

DEMANDA DE ENERGIA POR SECTORES.-
1985



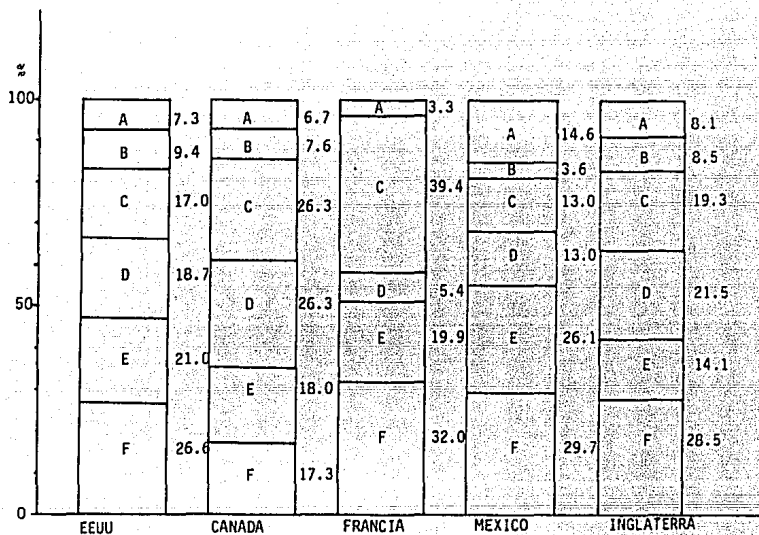
A.-USOS NO ENERGETICOS.
B.-COMERCIAL Y RESIDENCIAL.
C.-SECTOR ENERGETICO.
D.-TRANSPORTE.
E.-INDUSTRIAL.
F.-PERDIDAS.

Fig. 1.7

DEMANDA DE ENERGIA POR SECTORES.-

(1985)

ESTRUCTURA PORCENTUAL.



A.-PERDIDAS
 B.-USOS NO ENERGETICOS.
 C.-COMERCIAL Y RESIDENCIAL.
 D.-SECTOR ENERGETICO.
 E.-TRANSPORTE.
 F.-INDUSTRIAL.

Fig. 1.8

los precios de la energía nuclear en relación con los combustibles fósiles, ya que si los precios de electricidad de origen nuclear disminuyen, los procesos industriales aumentarán su consumo de electricidad y disminuirán el uso de combustibles.

Por su parte el sector residencial/público/comercial podría disminuir su consumo de combustibles con el uso de calefacción eléctrica y el buen diseño arquitectónico de las construcciones; ya que el consumo de estos se utiliza principalmente para la calefacción y calentar agua. En cuanto al consumo de energía eléctrica llevando a cabo una serie de programas de uso eficiente de la misma y concientizando sobre el consumo, se podrán realizar algunos ahorros.

I.3.- Relación Energía - PIB.

El PIB es la suma del valor de los bienes y servicios que generan una economía en un lapso dado, además de la entrada de capital debido a exportaciones y salida de capital por concepto de importaciones.

En las tablas 1.7 y 1.8, se presenta información sobre indicadores económicos del sector energético de México, correspondientes al período comprendido entre los años 70 - 85 que permiten analizar la evolución del sistema en este período.

La relación entre la energía primaria total (EPT) y el producto interno bruto se denomina coeficiente de energía o intensidad energética.

De la tabla 1.7 se puede apreciar que en el año 1983, la intensidad --

Tabla 1.7

Indicadores Económicos

Intensidad Energética

	70	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
Producción Nac. de Energía $\times 10^{12}$ Kcal	480	678.7	730.8	830.9	1008.7	1203.3	1547.8	1837.8	2139.5	2068.6	2071	2096.6
Energía Primaria para el Mercado $\times 10^{12}$ Kcal.	456.9	691.1	684.4	728.5	833.3	920.4	1040.2	1146.5	1230	1133.5	1156	1166.2
Producto Interno Bruto de 1970 10 Pesos	444,271.9	609,975.8	635,831.3	657,721.5	711,982.3	777,162.6	841,854.5	908,764.8	903,838.6	856,173.6	887,647.4	912,334.1
Intensidad Ener- gética. $\frac{\text{Kcal}}{\text{Pesos}}$	1.02	1.05	1.07	1.10	1.17	1.18	1.23	1.26	1.36	1.32	1.30	1.27

Fuente: Elaboración Propia. Tomando datos de los balances de Energía e Informe Económico del Banco de México.

Tabla 1.8
Elasticidad Energía-PIB

Tasa Media de Crecimiento Anual	70-75	75-81	81-83	83-85
% EPN	7.2	10.1	- .5	1.4
% PIB	6.5	6.87	-2.9	3.22
Elasticidad $\frac{\% \text{ EPN}}{\% \text{ PIB}}$	1.10	1.47	.17	.43

energética disminuyó debido a la crisis económica por la cual atravesó nuestro país en los años 1982-1983. Otro indicador significativo es la relación entre la tasa de crecimiento anual de la energía primaria total y la tasa de crecimiento del producto interno bruto. Esta relación se denomina elasticidad energía-PIB; como puede verse la elasticidad pasó de 1.1 en el período 1979-1975 a 1.47 en el período 1975-1981, lo que indica que estuvo creciendo más de prisa el suministro de energía que el producto interno bruto, con lo cual mostramos el uso ineficiente de nuestra energía.

En los años 1981-1983 y 1983-1985 las elasticidades disminuyeron pero no fue debido a programas de conservación de energía sino porque en los años 1981-1983 la tasa media de crecimiento anual de PIB fue negativa al igual que la de EPN; y en el período 1983-1985 fue menor la tasa media de crecimiento anual de EPN que la de PIB; pero fue debido a que algunas industrias prefirieron cerrar o bien bajar sus producciones. Pero para saber si estamos utilizando ineficientemente nuestra energía es necesario compararnos con otros países que tengan un desarrollo económico parecido al nuestro como por ejemplo Brasil y España; de la tabla 1.9 y la fig. 1.9, podemos apreciar esto: de lo cual concluimos que Brasil utiliza más eficientemente su energía que España y México, mientras que EUA y Japón tienen un desarrollo económico parecido, podemos ver que Japón tiene una intensidad de 3.377 y los EUA de 5.278 en el año de 1983 por lo cual se concluye que Japón utiliza más eficientemente su energía.

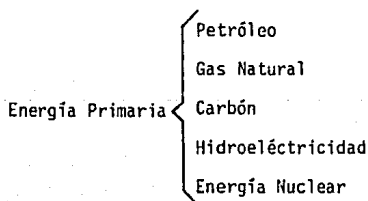
Tabla 1.9

Consumo de Energía Primaria por Unidad de PIB.

País	Año	Consumo (KcalX10 ¹²)	PIB (Precios de mercado (Millones dls)	C/PIB KcalX10 ⁹ (Mill. dls.)
U.S.A.	83	17 189	3 256,500	5.278
	84	18 008	3 619,200	4.975
FRANCIA	83	1 819	543,009	3.35
	84	1 870	516,303	3.62
ESPAÑA	83	792	180,958	4.37
	84	796	158,809	5.01
JAPON	83	3 424	1 013,915	3.377
	84	3 621	1 062,739	3.91
MEXICO	83	825	142,740	5.78
	84	821	175,109	4.68
BRASIL	83	608.08	283,076	2.14
	84	599.82	209,786	2.85

Fuentes: BP Statistical review of World Energy. Jun. 85

Fuente: Agenda Estadística 1985
Inst. Nac. de Estadística, Geografía e Informática



CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA POR UNIDAD DE P.I.B.---

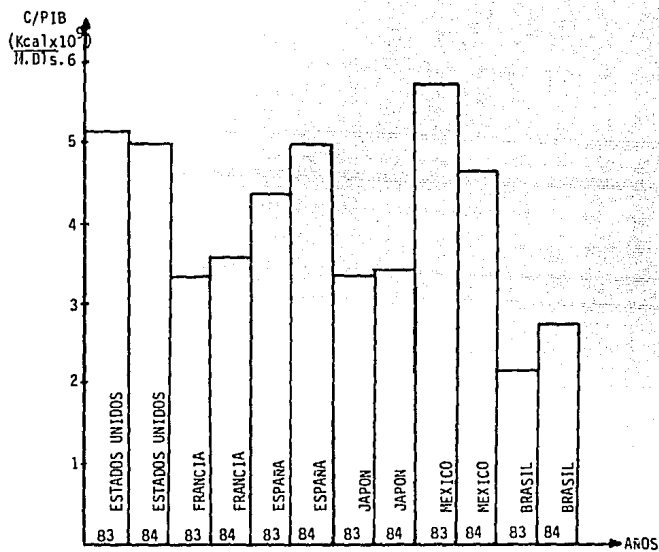


Fig. 1.9

Por esta razón, para disminuir los indicadores es necesario, realizar en México estudios como el presente, para tratar de lograr un uso más eficiente de la energía en la Industria Nacional.

I.4.- Generalidades de la Industria Azucarera.

La industria azucarera es la principal agroindustria del país. Esta compuesta por 69 ingenios distribuidos en 15 estados de la República de los cuales Veracruz y Jalisco agrupan el 33% y 14% respectivamente.

El sector paraestatal esta integrado por 51 ingenios, el sector privado esta constituido por 16 ingenios y existen 2 cooperativas.

La industria azucarera es un caso típico de la crisis energética en una industria. Lo cual se ve reflejado en la elevación de los costos y la baja productividad además de ser una de las industrias más intensas en el consumo de energía, que sin embargo, con una buena administración energética, podrían ser autosuficientes.

De la tabla 1.10, se observa que la producción de azúcar en los últimos años, en promedio, ha estado distribuida de la siguiente manera; sector público 75.18%, sector privado 18.9% y cooperativas 5.92%. - Lo que va de acuerdo a la cantidad de ingenios en cada sector. Con respecto a los diferentes tipos de azúcar que se producen, en promedio en las últimas zafras ha sido; estandar 59.43%, refinada que implica un consumo mayor de energía 35.06% y mascabado con 5.92%.

En la tabla 1.11, se muestra el destino final del azúcar por sectores

Tabla 1.10

PRODUCCION DE AZUCAR POR CLASE
ZAFRAS 1983 -- 1986

TONELADAS				
ZAFRAS	T O T A L	REFINADA	ESTANDAR	MASCABADO
1893	2 894,572	1 124,251	1 585,154	185,167
PUBLICO	2 139,077	699,760	1 288,299	151,018
PRIVADO	579,225	248,346	296,855	34,024
COOPERATIVAS	176,270	176,145		125
1984	3 045,675	1 103,106	1 788,688	153,611
PUBLICO	2 290,233	649,976	1 510,931	129,138
PRIVADO	566,199	264,151	277,757	24,209
COOPERATIVAS	189,243	188,979		264
1985	3 227,858	1 047,713	2 014,169	165,976
PUBLICO	2 448,338	582,655	1 726,091	139,593
PRIVADO	585,330	271,132	288,078	26,119
COOPERATIVAS	194,190	193,926		264
1986	3 691,102	1 234,090	2 254,505	202,507
PUBLICO	2 797,176	725,814	1 905,844	165,518
PRIVADO	699,827	314,332	348,661	36,834
COOPERATIVAS	194,099	193,944		155

FUENTE: ESTADISTICAS AZUCARERAS, AZUCAR, S.A. DE C.V.

Tabla 1.11

VENTAS DE AZUCAR POR DESTINO
1 9 8 3 -- 1 9 8 6

TONELADAS				
S E C T O R	1 9 8 3	1 9 8 4	1 9 8 5	1 9 8 6 ^(*)
T O T A L	3 022,653	3 088,879	3 095,378	3 314,000
INDUSTRIAL	1 666,144	1 666,437	1 653,922	1 867,949
DULCERA	216,238	233,352	214,983	248,437
EMPACADORA	66,622	67,971	66,360	76,586
PANIF. Y GALLETERA	244,146	245,306	213,228	261,513
EMBOTELLADORA	884,197	855,574	887,215	991,881
PRODS. LACTEOS	29,735	28,791	22,199	33,623
VINOS Y LICORES	24,972	26,213	21,418	39,227
OTRAS	200,234	209,230	231,599	216,682
DOMESTICO	1 356,509	1 422,442	1 441,456	1 446,051

(*) ESTIMADO

FUENTE: ESTADISTICAS AZUCARERAS, AZUCAR, S.A. DE C.V.

y sus totales, de la que se observa que la demanda aumenta año con año. Comparando las tablas 1.10 y 1.11, en cuanto a la producción total de azúcar y el consumo total de la misma se concluye que los años 1983 y 1984 para satisfacer la demanda se tuvo que importar azúcar, - no así durante los años 1985 y 1986 que se tuvieron excedentes, que se pudieron exportar para la obtención de divisas.

Una de las características de esta industria es su carácter de temporal, esto es trabaja en promedio seis meses al año. Está sujeta a las condiciones agrícolas de producción, al abastecimiento del volumen de caña y a su calidad y oportunidad.

En la tabla 1.12, se muestran los rendimientos promedio de los diferentes ingenios, clasificados por sector, siendo el rendimiento el porcentaje en peso que se obtiene de azúcar a partir de la caña procesada; - es decir si un ingenio tiene un rendimiento del 10%, indica que al alimentar a los molinos 1 ton. de caña, al final del proceso obtendremos 100 kg de azúcar.

En cuanto al estudio de la conservación y el uso eficiente de la energía en la industria azucarera se enfrenta a una serie de problemas de información y a la ausencia de estudios sobre sus patrones de consumo energético.

Un ingenio teóricamente debe ser autosuficiente en energía ya que producen su propio combustible que es el bagazo de caña, lo que en algunos ingenios no es utilizado como tal, muchas veces les conviene venderlo

Tabla 1.12

RENDIMIENTO DE AZUCAR EN FABRICA
ZAFRAS 1983 -- 1986

SECTOR	PORCIENTO			
	Z	A	F	R A S
	1982/1983	1983/1984	1984/1985	1985/1986
TOTAL	8.9	8.7	9.0	9.1
PUBLICO	8.9	8.7	9.0	9.0
ALTO VERACRUZ	10.0	9.7	10.0	10.5
BAJO VERACRUZ	8.5	7.8	8.5	8.2
BALSAS	10.7	10.3	10.4	10.6
CENTRO	8.9	8.9	9.1	8.4
HUASTECAS	8.6	8.9	8.5	9.6
NOROESTE	7.1	7.2	7.4	7.2
OCCIDENTE	9.4	9.7	10.0	9.7
PACIFICO SUR	9.0	9.0	9.8	9.3
SURESTE	8.0	8.7	9.2	7.9
PRIVADO	8.8	8.7	9.2	9.4
COOPERATIVAS	9.4	9.6	9.7	9.9

FUENTE: DESARROLLO OPERATIVO, AZUCAR, S.A. DE C.V.

como celulosa a la Industria del papel. La producción de azúcar requiere altos consumos de energía; su consumo de combustóleo es de -- los más altos dentro de las ramas industriales, llegando a valores -- del 19% en el consumo industrial y de 5.8% a nivel nacional; comparándolo con otros países, se estima que nuestros consumos que deberfan observarse, están muy por encima de los que se observan en los demás países, aproximadamente son del orden de 4 a 5 veces mayores.

Por otra parte la industria azucarera es una de las más antiguas del país y la conformación de la capacidad instalada, estructura, ampliaciones y reposición de maquinaria y equipo, ha permanecido casi invariable. Esto se manifiesta en que muchos ingenios están compuestos por maquinaria y equipos viejos y obsoletos frente a otros relativamente nuevos y modernos. No es de entonces extrañar la existencia de un amplio consumo energético en ingenios, lo cual implica su análisis.

En la tabla 1.13, se muestran los consumos de combustóleo por ton. de caña. De lo cual se ve que a últimas fechas ha ido disminuyendo ligeramente, ya que las necesidades totales de combustibles se cubren con el quemado de bagazo, por lo que ésta reducción en el consumo de combustóleo no significa que se haga un uso más eficiente del mismo.

En los ingenios el problema de la energía prácticamente no existe para ellos, pero es un problema muy fuerte a nivel Nacional en el momento que se utiliza energía que no debería estar consumiendo, ya que debería ser autosuficiente con la producción de bagazo; aunque para éste existe la alternativa de usarlo como celulosa para la industria del-

Tabla 1.13

CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR TONELADA DE CAÑA
ZAFRAS 1983 -- 1986

SECTOR	Z	A	F	R	A	S
	1982/1983 LTS./T.C.	1983/1984 LTS./T.C.	1984/1985 LTS./T.C.	1984/1985 LTS./T.C.	1985/1986 LTS./T.C.	1985/1986 LTS./T.C.
TOTAL	28.17	26.67		25.16		23.11
PUBLICO	28.83	27.84		25.46		22.17
PRIVADO	27.44	24.16		23.93		22.65
COOPERATIVAS	22.32	19.34		25.05		39.61

FUENTE: DESARROLLO OPERATIVO, AZUCAR, S.A. DE C.V.

papel. Es sin duda uno de nuestros sectores más ineficientes energé-
ticamente. Entre los factores que han motivado este alto consumo de
energía tenemos:

1).- La baja eficiencia que se observa en los diversos departamentos
del proceso productivo provoca aumentos considerables en la demanda -
de energía.

2).- Los desniveles en la capacidad instalada de producción en las -
distintas áreas, causados por las ampliaciones sucesivas en los inge-
nios, han creado desbalances tanto en el nivel productivo como en el
energético.

3).- La industria se caracteriza, en general, por la antigüedad u ob-
solescencia de gran parte de la maquinaria y equipos, principalmente en
el área de molinos, calderas y planta de fuerza.

4).- Los tiempos perdidos de la industria son considerables: un día
de paro por tres días de operación. Estas magnitudes se agravan al -
considerar las frecuencias de las paradas.

5).- La industria toma el bagazo como un "insumo gratuito". Esto, -
unido al precio subsidiado del combustible, deforma las consideracio-
nes sobre el costo de la energía y hace que no se le dé mayor impor-
tancia al uso dispendioso o exagerado de aquél.

REFERENCIAS

- (1) Uso Eficiente y Conservación de la Energía I
Programa Universitario de Energía.
U.N.A.M.
- (2) Reporte Balance Energético, C.F.E. 1985.
- (3) Uso Eficiente y Conservación de la Energía I
PUE.
U.N.A.M.
- (4) Uso Eficiente y Conservación de la Energía en México.
El Colegio de México.
Osacar M. Guzmán. 1985
- (5) Programa Nacional Energético 1984 - 1988
Poder Ejecutivo Federal.
S E M I P.
- (6) Informe de Labores 1985 - 1986
Azúcar, S.A.
- (7) Energy Statistics No. 1
First Quarter.

CAPITULO 2

II.- INDUSTRIA AZUCARERA, GENERALIDADES

II.1.- Explicación del proceso de obtención del azúcar.

Esta parte del trabajo, tiene como finalidad explicar en que consiste el proceso de transformación de la caña de azúcar en forma granulada. Partiremos explicando el proceso en sus etapas principales y posteriormente se particularizará al Ingenio Casasano.

En la Zona de Batey, zona de entrada de la materia prima al Ingenio, - se maneja la caña por medio de grúas, descargándola de los camiones -- después de haber sido pesada. Esta caña posteriormente usando las mismas grúas es depositada en las bandas transportadoras, conduciéndola - hacia la etapa de preparación. La caña es cortada y desfibrada por medio de un juego de cuchillas y una desfibradora de martillo. En algunos ingenios se lava la caña antes de entrar en la etapa de preparación.

En condiciones normales la caña cede más del 60% de su peso en jugo al pasar a través del primer molino, es decir, se extrae más del 70% de - la sacarosa contenida en la caña. A medida que el bagazo (residuo de la molienda) avanza por los molinos, se comprime más, perdiendo parte de su jugo, hasta que finalmente en condiciones buenas de trabajo, sale de los molinos conteniendo aproximadamente un 50% de fibra.

En la mayoría de los Ingenios, la caña se tritura en varios juegos de molinos montados en tándems y después de cada molino, se le agrega al bagazo el agua o el jugo, con el objeto de diluir el jugo remanente y aumentar así la extracción de sacarosa.

Maceración e imbibición.- La maceración consiste en hacer pasar el bagazo por un baño de agua antes de remolerlo, con el fin de diluir la sacarosa remanente, la imbibición consiste en realizar la misma operación usando el jugo en vez de agua. Para simplificar la explicación - denominaremos a este proceso de "Saturación".

La saturación puede ser simple, doble o compuesta. La saturación simple usa únicamente agua, en la doble se usa agua y el jugo del último juego de molinos, mientras que en la saturación compuesta se usa agua y el jugo de los dos últimos o más molinos, inyectando estos líquidos separadamente, a los molinos precedentes de cada juego.

Los procesos de saturación simple y doble se usan normalmente en el tándem de tres molinos. La saturación compuesta cuando el tándem es de cuatro o más molinos.

Eficiencia de la Molienda.- La eficiencia de la molienda se expresa convenientemente en términos de porcentaje de sacarosa en la caña (sacarosa en el jugo entre sacarosa en la caña), a este coeficiente se le conoce como "extracción de sacarosa" o más brevemente como extracción.- La eficiencia en la molienda también se determina en base a datos analíticos del bagazo o de la proporción entre la fibra y sacarosa en el residuo citado.

Anteriormente, la cantidad de jugo normal extraído de la caña se consideraba como índice de eficiencia, pero, en la actualidad, se reconoce que la extracción de sacarosa es un dato más valioso. Una buena eficiencia es de 94% a 99%.

Coladores de Jugo de los Molinos.- Los jugos cuando salen de entre las masas arrastran consigo el bagazo y el bagacillo; por lo cual es necesario colarlos, para poder manejarlos por medio de bombas y para poder eliminar del proceso la mayor cantidad de materias extrañas.

Purificación del Jugo.- La purificación del jugo comienza a partir del departamento de pesaje, llamándose también a este proceso: clarificación o defecación.

El objeto de la clarificación es separar del jugo el máximo de impurezas, en la fase más temprana posible de la elaboración del azúcar. Este proceso consiste en mezclar cal y calentar el jugo; pero la cantidad que se emplea de cal varía así como la temperatura a que se deberá calentar el jugo, según las condiciones del lugar, aunque en general se añade suficiente cal para neutralizar los ácidos orgánicos presentes en el jugo, elevándose posteriormente la temperatura a 90°C o más. La separación del precipitado del jugo se efectúa por medio de decantación, dejándolo en reposo para asentar y tratando el jugo en diversos tipos de defecadores y clarificadores que se describen más adelante.

Esta separación se efectúa en forma completa y rápida.

Alcalinización.- Para obtener una buena clarificación, es necesario ---

que la cantidad de cal usada sea la correcta. Con poca cal hay decantación deficiente y por consiguiente, jugos turbios y posibles pérdidas por inversión; así como demasiada cal le da a los jugos -- un color oscuro, también aumentan las sustancias gomosas, así como la cantidad de cenizas debido a sales cálcicas disueltas, obteniendo mayor producción de mieles.

Con la introducción del control de PH o Concentración de iones de Hidrógeno, se ha logrado un notable progreso en la exactitud de la clarificación.

Todas las investigaciones recientes sobre la relación entre PH y la defecación parecen estar de acuerdo en que alcalinizando el jugo -- frío de 8.0 hasta 8.5 PH produce los mejores resultados, por las siguientes razones: brillantez de jugo, volumen de cachaza, aumento de pureza entre jugo mixto, crudo y clarificado; además, se evita la destrucción de glucosa e inversiones posteriores en el proceso.

La alcalinización del jugo se efectúa en forma continua; un chorro de lechada de cal, por un lado y un chorro de guarapo por el otro, caen en un tanque provisto de aspas que agitan la mezcla.

La temperatura a la que se calienta el jugo durante la clarificación, varía mucho, siendo los límites de 90 a 115°C; aunque por lo general se calienta hasta el punto de ebullición o bien un poco más. Cuando se llega al punto de ebullición se obtiene una decantación más rápida y la cachaza es más compacta, pero de acuerdo con estudios recientes

tes la temperatura más conveniente para el guarapo claro está en los límites de 94 a 99°C y para el jugo alcalinizado entre 32 y 49 °C.

Calentadores.- A continuación el jugo es bombeado a los calentadores que son recipientes cilíndricos cerrados, en sus dos extremos, con platos de cobre. Estos soportan numerosos tubos del mismo material que van de un extremo a otro y por los que circula el jugo a gran velocidad. Los tubos se calientan exteriormente con vapor. Se requiere --- aproximadamente (0.093 m^2) de superficie de calefacción por tonelada de caña. En estos aparatos se usa vapor de escape, elevando la temperatura del jugo hasta el punto de ebullición o ligeramente un poco más, (de 100 a 105°C), posteriormente el jugo pasa para su defecación ---- hacia los clarificadores.

Cachaza, Clarificación y Filtración.- En el fondo de los clarificadores queda un residuo en forma de torta, llamado cachaza, compuesta --- principalmente de bagacillo, carbón, tierra, etc. y una considerable cantidad de sacarosa.

Esta cachaza es enviada por medio de bombas, hacia un mezclador y de--- ahí a los filtros. Los filtros son cilindros colocados horizontalmente, que giran a 1.5 r.p.m., con su parte inferior sumergida en cachaza a la que se le ha agregado agua caliente: la cubierta del cilindro es de lámina inoxidable y tiene perforaciones pequeñas con un diámetro -- aprox. de 1/64", la carcasa de los filtros está conectada radialmente con tubos de 1/4" de diámetro unidos todos ellos a una línea de vacío, es decir, estos filtros extraen el jugo por succión, recogiénose---- el bagazo sobrante por medio de cuchillas. El jugo recogido de esta manera se envía a los precalentadores, por medio de bombas, dirigién

dolo hacia la siguiente etapa que es la de cocción de la masa.

Evaporación y Concentración del Guarapo.

Meladura- El guarapo tiene que ser concentrado hasta que tenga la -- consistencia de meladura, de aprox. 50 a 60°Bx; este proceso se realiza en evaporadores al vacío.

El guarapo clarificado se debe bombear a los evaporadores rápidamente y en forma continua, según va saliendo de la defecación o clarificación, manteniéndose el volumen del guarapo al nivel más bajo posible, para evitar que descienda la temperatura dentro de los evaporadores. Esta debe ser aprox. de 97°C y el flujo del guarapo se regula de acuerdo con la capacidad de los evaporadores. Durante este -- proceso el guarapo clarificado pierde alrededor del 70% de agua, la cual se aprovecha para alimentar las calderas y la imbibición de los molinos.

La concentración del guarapo requiere baja temperatura para evitar la caramelización e inversión que se produciría si la operación se realizara a alta temperatura. Calentando el guarapo al vacío, se disminuye la presión que actúa sobre él y con ello su punto de ebullición; por lo tanto, si se extraen los gases y vapores que se forman al calentarlo y se aplica suficiente calor, el agua se evapora con rapidez a una temperatura relativamente baja, lo cual evita la inversión de azúcar que se encuentra en solución en el guarapo. Por esta razón -- la concentración del guarapo se realiza al vacío para extraer los gases y los vapores, manteniendo baja presión sobre la superficie del-

líquido.

La concentración del azúcar en la meladura no debe pasar de ciertos límites; 50 a 60°Bx que es lo más conveniente para el trabajo de los tachos ya que con mayor concentración se produce un azúcar de poca consistencia, a menos de 50°Bx, hay demasiada evaporación en los tachos, con gran consumo de vapor y disminución de la capacidad del mismo, la idea es tener una concentración en la meladura de 54 a 57°Bx.

Tachos.- Estos son evaporadores de simple-efecto; difieren de los anteriores en que los tubos que componen la superficie de calefacción son de mayor diámetro, ya que por ellos circula una masa cocida con un contenido bajo de agua de 4 a 7% a diferencia de la meladura con 50% de agua.

Los tachos más comunmente usados son los de calandria, teniendo tubos de 4" a 5" de diámetro y de 3" a 5" de longitud, pero hay calandrias que tienen tubos de 6" y un tubo central de 24" a 40" denominado "tubo bullidor", actualmente se construye tubos hasta de 5" de diámetro; los tubos adicionales se instalan con el fin de acelerar la circulación de la masa cocida. Las calandrias están compuestas de 2 placas, una superior y otra inferior en las que van mandrilados los tubos verticalmente.

Funcionamiento de los Tachos.- Los tachos de calandria trabajan con vapor de escape de 7 a 10 lb de presión. Estos tachos consumen poco vapor.

Algunos tachos de calandria tienen serpentín abajo de las calandrias para admitir vapor directo con el fin de revolver la masa cocida en el fondo del tacho; también puede tener uno o dos serpentines en la parte superior de la calandria para acelerar la evaporación, trabajando estos serpentines con vapor directo a baja presión.

Los tachos requieren bombas de vacío, la de inyección y la del condensador. Se requiere una presión de vacío de 25" a 27" Hg, o sea que la evaporación de los tachos se efectúa a la misma presión que en los evaporadores. Así también se puede hacer uso de eyectores de vapor, para producir el vacío deseado.

Los tachos están provistos de una compuerta en la parte inferior para descargar la masa cocida o bien una válvula de globo construida totalmente de bronce, ambas de gran diámetro, con cierre perfecto para evitar la entrada de aire, perjudicial para el trabajo de los tachos.

Para sacar muestras de masa cocida el tacho está provisto de una sonda de bronce, que el tachero u operador, utiliza para el control de la operación; para ver la altura de la masa cocida, existen visores redondos de cristal en la parte delantera, espaciados 1" al centro, con un diámetro aprox. de 5". Los tachos son de mayor diámetro que altura, con una relación de 10 a 1, es decir por cada 10 pulg. cuadradas de superficie de la base debe haber 1" de altura.

Cuando los tachos trabajan a un ritmo normal y la cristalización de

la templa es satisfactoria, no es necesario variar la temperatura, ni la presión. Para producir azúcar corriente de 97° de polarización, el tacho trabaja a 26" Hg de vacío, en el que se tiene una temperatura de ebullición de 51.9°C, que se considera normal en todo el curso del trabajo.

De acuerdo con la evaluación de las plantas generadoras de vapor así como de las turbinas, existe una tendencia a aumentar la presión del vapor de escape. A consecuencia, los tachos actuales tienen estructura más fuerte por lo que, en los ingenios modernos es normal que trabajen con vapor de escape, de 8 a 20 psi.

Cristalizadores.— Algunos autores o técnicos azucareros llaman al trabajo de los cristalizadores, cristalización en movimiento, pero esta denominación no es del todo correcta, ya que en los cristalizadores las templeas no se cristalizan, si no más bien se preparan y el grano aumenta ligeramente de tamaño, según el tiempo que permanezca en ellos. Todos los cristalizadores tienen serpentines de agua caliente y fría.

Los dos tipos de cristalizadores usados más comúnmente son: tipo -- cilíndrico y el tipo U, ambos con paletas que están dispuestas en forma espiral, arrollan la masa cocida hasta la compuerta de salida.

La masa cocida de tercera o de agotamiento, cuando sale de los tachos, es una mezcla de cristales de azúcar y de miel que contiene

todavía mucha sacarosa disuelta en el agua madre. El proceso denominado "cristalización en movimiento" consiste esencialmente, en mantener en movimiento los cristales o granos de azúcar, mientras se enfría la --- masa cocida. Así se logra que la sacarosa disuelta en la miel se deposite sobre los cristales ya formados. A medida que se observa el -- crecimiento de dichos granos se va agotando la miel que los rodea. La velocidad de agitación varía según el caso, pero lo más común es que, para masas de primera y segunda, la velocidad más conveniente sea de - 5 a 6 r.p.m.; las masas de tercera, requieren agitación continua durante un período de 72 hrs., a una velocidad comprendida entre 1/2 y 1 1/4 de r.p.m., por lo que algunos ingenios tienen que venderla a otros que cuenten con los sistemas adecuados para completar el proceso.

El azúcar se "purga" o se separa de las mieles por fuerza centrífuga,-- obteniéndose azúcar crudo, miel de segunda y purga de segunda. El ---- "mascabado" es azúcar crudo, obtenido de la primera centrifugación de la miel de segunda, su color es oscuro, debido a la cantidad de miel - que contiene. La miel de segunda es la que se extrae directamente del giro de la centrifugación, denominándose purga, el producto de la miel y el agua rociada sobre la masa de segunda o B, que se utiliza con el-- objeto de lavar el grano.

Refinación.- El proceso de refinación del azúcar de caña es sencillo en teoría, pero complejo en la práctica. El manejo de los azúcares -- de baja polarización, el tratamiento de agua de lavado y control de -- filtración sobre carbón, implica técnicas cuya descripción detallada-- excede los propósitos de este trabajo.

La refinación comprende los siguientes procedimientos:

- El primer paso se conoce como afinación o "lavado" y consiste en separar la capa o película de miel adherida a la superficie de los granos de azúcar. Esta tiene una pureza de 65 o menos, según la clase de masa cocida de la que se obtuvo, mientras que el cristal es prácticamente sacarosa pura.

La separación se efectúa mezclando el azúcar crudo con un sirope espeso (65 a 70°Bx), purgando la mezcla en centrifugas y luego lavándolo con agua, después de que se haya separado o "escurrido" el sirope.

Al principio de la operación los crudos entran en los mezcladores formando con agua un magma espeso y frío que después se descarga a mezcladores del mismo tipo que los usados en la fabricación de azúcar crudo. A continuación el magma se purga en centrifugas, siendo éstas del tipo de descarga automática y el azúcar lavado pasa al disolutor o "fundidor". La operación de lavado en condiciones normales, debe rendir un azúcar amarillento y de aproximadamente 99 de pureza.

Ahora, en lugar de agua, se descarga a los mezcladores el sirope obtenido de las purgas para formar el magma con el azúcar crudo. Es evidente que, con las sucesivas operaciones de mezclar y purgar esta miel de primera o miel de lavado, disminuye su pureza y aumenta el volumen de la misma, hasta que se tiene una cantidad mayor de la que se requería para la formación del magma.

El licor del crudo lavado del disolutor o fundidor, contiene algunas materias insolubles, tales como bagacillo, arcilla, arena, etc., y cantidades apreciables de suspensiones finas y dispersoides así como gomas, pectinas y otros coloides verdaderos que pudieron clarificarse o que se hayan formado en las fases posteriores del proceso: además el licor es generalmente ácido. Los lavados del crudo se defecan en tanques circulares con fondo cónico para facilitar su drenaje y limpieza, provistos de serpentín de vapor y conexiones de aire para agitar el líquido. Por último, para lograr una mejor defecación, se le agrega a los lavados ácido fosfórico en proporción de tres a un millón; después de esta operación, el siguiente proceso será el de filtración por medio de filtros- prensa .

Filtros de Carbón Activado.- Estos son filtros con depósitos cilíndricos verticales de hierro fundido, cónicos en su parte superior y en el lado inferior; el carbón activado se coloca sobre una placa perforada cubierta con un pedazo de frazada de algodón burda y debajo otra con tejido más fino para evitar que el licor filtrado arrastre polvo de carbón. El tubo de entrada se encuentra cerca de la cabeza del filtro, y el tubo de salida, en el fondo de la placa perforada.

El carbón activado dentro del filtro, se deteriora y debido al paso continuo del licor, forma canales internos, por lo que su capacidad filtradora se va reduciendo; por lo tanto, es necesario cambiar periódicamente el carbón, operación que se efectúa cada 48 hrs.

La temperatura de entrada del líquido o licor es de 170 a 180°C y el licor obtenido en estos filtros debe polarizar a 99 y dar 6 de color.

La última etapa es el secado, ya que el azúcar debe salir con determinado grado de humedad para cumplir con las normas comerciales para ser envasada. Este proceso se lleva a cabo en secadores tipo rotatorios, los cuales son grandes cilindros colocados horizontalmente con un ángulo de inclinación para que el azúcar en el secador pueda salir en el extremo opuesto al que entró. Para secar el azúcar se utiliza aire que se calienta con ayuda de un cambiador de calor, haciendo pasar el aire por el interior del secador, en la pared del secador se cuenta con paletas que hacen que cuando el aparato este girando levante el azúcar y la deje caer, con lo cual se tiene un mejor contacto entre el aire caliente y el azúcar lo que repercute en un mejor secado del azúcar.

Después de secar el azúcar, ésta es envasada en costales con ayuda de una tolva y una báscula automática.

II.2.- Diagrama de flujo.

La figura 2.1, representa el diagrama general de la instalación típica de un ingenio azucarero moderno, mostrando las partes principales del proceso.

II.3.- Diagrama de Bloques.

La figura 2.2, muestra el proceso de elaboración del azúcar, a partir de los principales departamentos de elaboración con sus respectivas

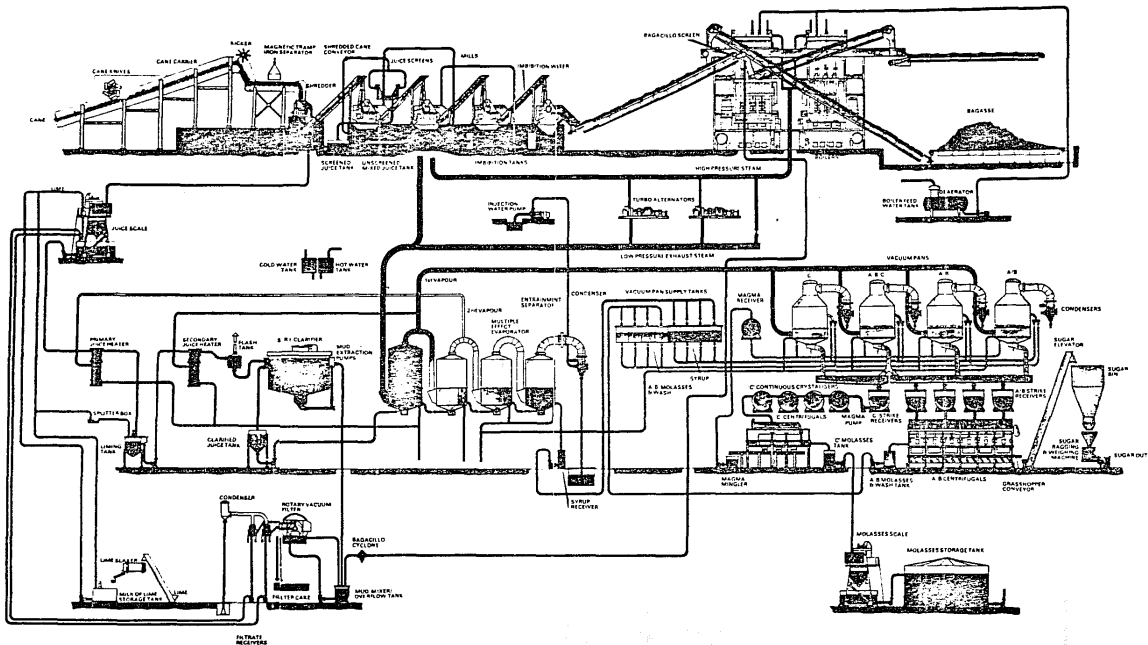


Fig. 2.I.- Diagrama general de la instalación típica de un ingenio moderno, mostrando las partes principales del proceso.

II.3.- Diagrama de Bloques.

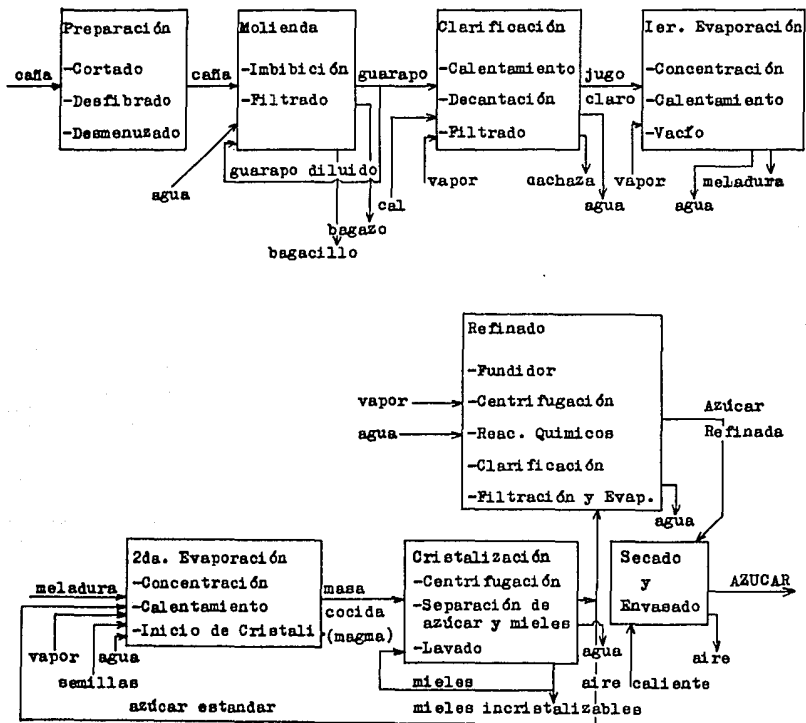


Fig. 2.2

II.4-. Diagrama de Flujo simplificado del
Ingenio Casasano.

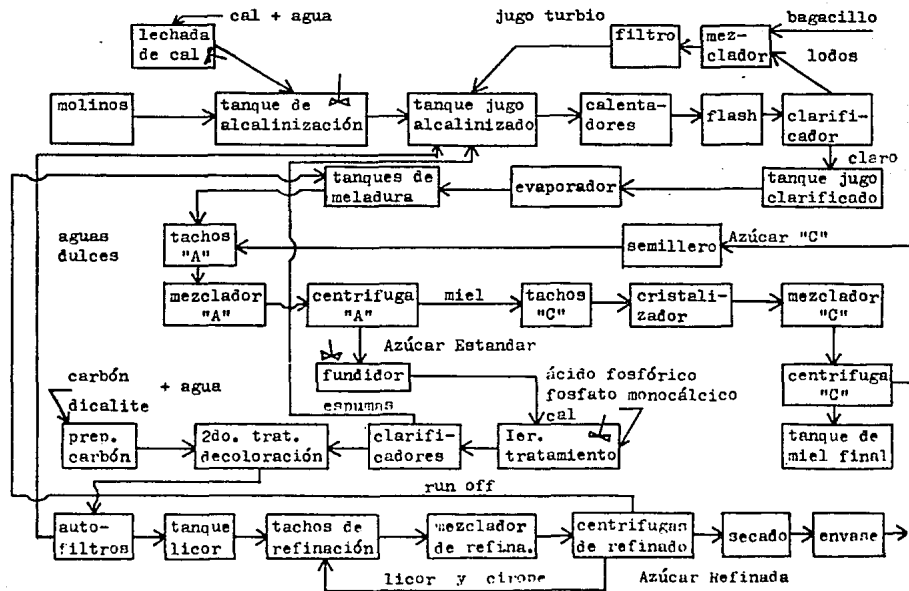


Fig. 2.3

operaciones unitarias.

II.4.- Diagrama de flujo simplificado del Ingenio "Casasano"

La figura 2.3, muestra las principales etapas de elaboración del Ingenio Casasano.

II.5.- Características de Equipos utilizados, Ingenio Casasano.

Manejo de la caña.- La caña se maneja en tercios encadenados de 3,500 kg , atados en cadenas cada tercio. Se pesan en 2 básculas con - cap. de 40 ton. c/u con plataforma de 14 mts. de longitud, con registro de peso. Para la descarga de camiones se dispone de dos grúas radiales con cap. de 5 ton. y 18.28 mts. de radio c/u . Dos mesas alimentadoras- de 6x6 mts. con 6 hilos de cadena cada una movidas por motoreductor de 20 HP . Se cuenta también con un conductor de caña de 1.53 mts. de ancho por 20 mts. de largo, movido por motor de velocidad vable. de 100 HP Y 1750 rpm, con reductor de velocidad, relación 25.73:1 de 125 HP .

Equipo de molienda.- Se tienen 2 jgos. de gallegos o niveladores de caña con motor eléctrico de 20 HP, dos jgos. de cuchillas con 26 hojas de 1.53 mts. de diámetro, trabajan a 600 rpm por medio de motores eléctricos de 125 HP y 220 HP, una desfibradora de 92x122 cms. movida - por motor eléctrico de 190 HP y 1165 rpm.

El tándem está compuesto por 4 molinos, 12 masas en total cada una de-- 0.83x1.37 mts. las cuales son movidas por turbinas de vapor. El 1º y -- 2º molinos con una turbina de 300 HP y 2600 rpm c/u y los molinos 3 y 4 con otra de 625 HP y 2700 rpm. Todos los molinos están provistos de --- reductores de velocidad con relación de alta velocidad 44.88:1 y en ba- ja 10.972:1 .

Se cuenta con un colador de bagacillo de 1.52x2.13 mts. con ranura de -- 1 mm.; se usa el sistema de maceración doble con un 15% de agua de imbibición.

Clarificación.- El guarapo se pesa en dos básculas automáticas - de 13 toneladas. Se tienen 3 bombas 640 gpm de 40 HP y 1750 rpm. La alcalización es continua y con agitación mecánica, la capacidad del tanque de lechada es de 7,400 lts. Existen 3 calentadores de guarapo de 76.5,- 140 y 186 mts.² cada uno; tres clarificadores de 6.10 mts. de diámetro y con capacidad de 141,000 y 2 de 150,000 lts., respectivamente, y por último con un filtro EIMCO de 3.05x6.10 mts. para la cachaza

Evaporadoras.- Se tienen 6 evaporadoras de múltiple efecto con superficies de calefacción de 1,022.3m², 650.56m², 325.28m² y el cuarto, quinto y sexto de 260.22m². El primer evaporador surte a los sigs. evaporadores y a los tachos.

Tachos.- Se cuenta con siete tachos de calandria, 5 son para el azúcar crudo "A" y "C" y dos para el refinado, todos de fabricación nacional. Dos son de 3.09 mts. de diámetro, uno de 3.96 mts. de diámetro y dos de 3.88 mts. de diámetro y tres de tipo cabeza de 3.04x3.88 mts. La capacidad promedio de todos los tachos es de 21,000 lts. y el vapor de proceso es de 0.63 kg/cm².

Cristalizadores.- Siete cristalizadores de fabricación nacional, abiertos, sección en forma de "U" provistos de agitación y regulación de temperatura por circulación con capacidad total de 134,000 lts. con 12 - hrs. de retención para masas tipo "C" movidos por un motor eléctrico de 25 HP y dos cristalizadores continuos con enfriamiento de agua contracorrente.

Centrifugas.- Dos baterías de centrifugas una de 6 y otra de 7 de 1.01 X 0.61 mts. de 11 ft cúbicos de capacidad, trabajan a 1500 rpm tipo banda. Seis centrifugas se usan para las templeas de crudo, tres para el refinado y 4 para las templeas "C". Todas movidas con dos turbinas de vapor de 300 HP cada una.

Refinería.- Consiste en 11 tanques de tratamiento de 5000 lts. - c/u con agitadores mecánicos, un clarificador de licor con control de temperatura automática: tres filtros para filtración y decoloración para licor con carbón vegetal sistema autofiltro, dos de 83.61 mts² y uno de 179.35 mts² de sup. de filtración.

Almacenamiento de Azúcar.- Un almacén con capacidad total aproximada de 80,000 sacos de 50 kgs. cada uno.

Equipos Auxiliares.

Planta de Vapor.- Cinco calderas acuotubulares, calderas 1 y 4 de 15.3 y 11 ton.vap./hr. respectivamente, 2 y 3 de 11 y 15.7 ton.vap./hr. y la num. 5 de 16 ton.vap./hr. trabajan en batería a una presión de 9,400 kg/cm² y 177°C de vapor vivo. Las calderas 1,2 y 4 tienen horno de parrilla para quemar bagazo y petróleo, la num. 3 con horno de herradura para bagazo y petróleo y la num. 5 con horno integral para quemar petróleo únicamente.

Planta Eléctrica.- Tres turbogeneradores; dos con capacidad de 450 KW, turbina de 900 rpm y un turbogenerador de 1000 KW, turbina de 1000 rpm y generador a 1,200 rpm; generan 440 V a 60 HZ y para -- tiempo muerto, hay una planta diesel generadora de 250 KW a 900 rpm.

Equipo de Condensación y Vacfo.- El agua para los condensadores es impulsada por 4 bombas contrífugas de 10.000 l.p.m. movidas por motores eléctricos de 74 HP. El departamento de evaporación y los tachos estan provistos de condensadores barométricos de contra corriente .

El vacfo se realiza por medio de eyectores de vapor de 2 pasos para dar un vacfo de 60 cms. de H₂O. Una bomba de 1750 rpm y 50 HP de pozo profundo. Se recupera el 80% de condensado.

Secador.- Horizontal tipo retoclone de 1.81 mts. de diámetro y -- 8.65 de largo de 250 tons. de azúcar en 24 hrs.

Tanques para Mieles.- Tres tanques metálicos con capacidad total de 6,043,814 lts.

↓ Tanques para Petróleos.- Tres tanques metálicos con capacidad total para 6,673,064 lts.

CAPITULO 3

III. ANALISIS ENERGETICO DE LA PLANTA

En este capítulo se cuantifican las generaciones y consumos más importantes del ingenio.

La fuente principal de energía del ingenio son el combustible y bagazo, los cuales se queman en calderas para obtener vapor. Este vapor es distribuido en toda la planta para cubrir los requerimientos energéticos de los equipos durante el proceso, ya sea para; calentamiento, generación de energía eléctrica, generación de energía mecánica y servicios auxiliares.

Con respecto al consumo de vapor se presenta un diagrama unifilar de los consumos más importantes⁽¹⁾.

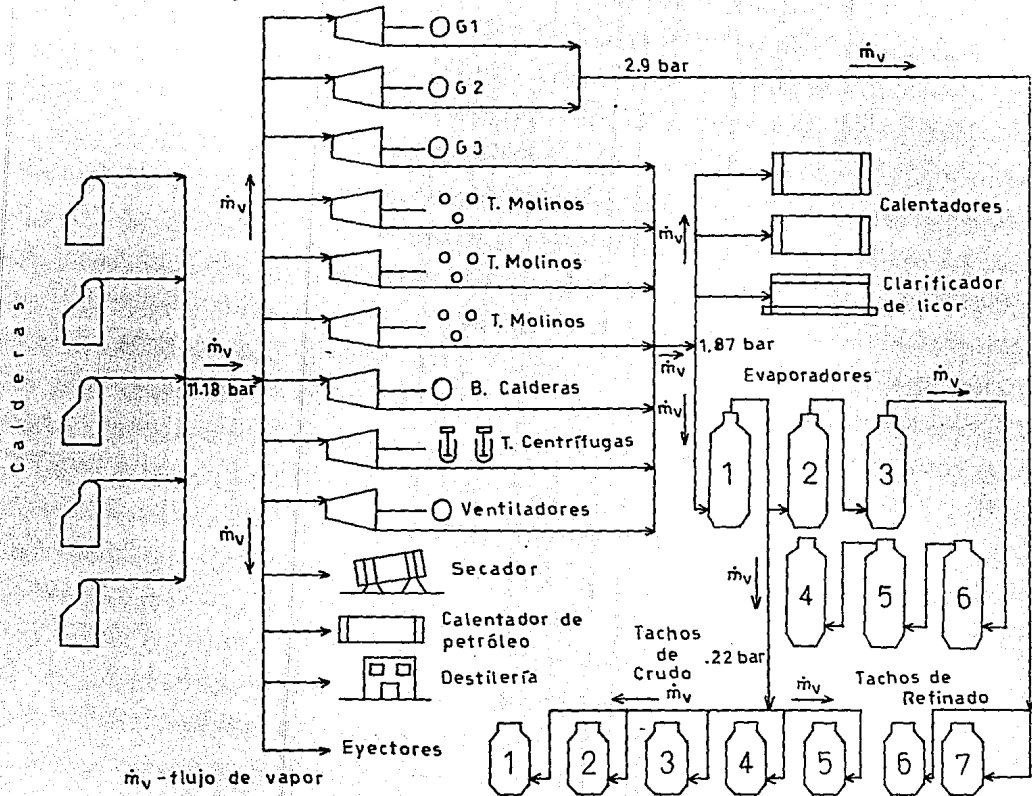
La generación de vapor se toma de las capacidades nominales de las calderas.

Si multiplicamos los consumos y generaciones de vapor por su entalpía correspondiente, conoceremos la energía que consumen los equipos, y a su vez podremos saber el consumo total de energía en forma de vapor - que requiere el proceso, que es lo que realmente nos interesa.

III.1.- Consumos de Vapor.

A continuación presentamos el diagrama unifilar simplificado de consu

Diagrama Simplificado (Consumo de Vapor)



mos de vapor del proceso, donde se muestran las principales líneas de distribución del mismo y la presión a la que se maneja el vapor. Se consideran únicamente los principales equipos consumidores de vapor, que son:

- Turbo-generadores
- Turbinas de molinos
- Turbinas de centrífugas
- Turbinas de ventilador
- Bombas de agua a calderas
- Calentador de petróleo
- Eyectores
- Destilería
- Secador de azúcar
- Evaporadores
- Tachos
- Clarificador de refinado
- Calentadores de jugo

III.2.- Cálculos de Consumos de Vapor.

Antes de realizar los cálculos, mencionaremos brevemente la metodología que se siguió:

- a) Inicialmente se realizan los cálculos de consumo de vapor y energía, considerando que no hay pérdidas de energía en tuberías.

- b) Con ayuda de los cálculos anteriores, se recálcula los consumos de vapor y energía, considerando ahora las pérdidas de energía - en tuberías.
- c) Para tener un valor preciso de los consumos de vapor y energía, - sería necesario realizar una serie de iteraciones en los cálculos, hasta que las variaciones de los mismos no mostrarán mucha diferencia. Para los fines que persigue este trabajo, con una iteración es suficiente.
- d) Las consideraciones que se hacen en el vapor son:
- El consumo de energía en cada equipo incluye sus pérdidas.
 - Según comentarios de técnicos operarios del ingenio, se supone o considera que, el vapor que proporcionan las calderas es saturado seco.
 - Las presiones que se utilizan en los cálculos son absolutas.

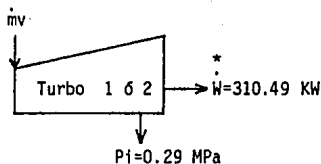
III.2.1.- Cálculos de Consumos de Vapor y Energía sin Considerar Pérdidas en Tuberías.

- Turbogeneradores.

Existen tres turbogeneradores marca Stel-Rsea, de los cuales dos tienen capacidades de 450 KW con turbina a 900 rpm y generador a 900 rpm, y otro de 1000 KW con turbina de 1000 rpm y generador a 1200 rpm.

Las condiciones del vapor en los turbos 1 ó 2 es:

Po = 1.118 MPa



De tablas de vapor de agua leemos las propiedades de este para cada presión:

Entrada:	Salida:
Po = 1.118 MPa	Pi = 0.29 MPa
ho = hg = 2782.4 KJ/KG	hif = 556.54 KJ/KG
so = sg = 6.5473 KJ/KG°K	hifg = 2167.2 KJ/KG
	sif = 1.6597 KJ/KG°K
	sifg = 5.3435 KJ/KG°K

considerando inicialmente el proceso isoentrópico

$$S_i = S_o$$

$$X_s = \frac{S_i - S_{if}}{S_{ifg}}$$

$$X_s = 0.915$$

$$h_{is} = h_{if} + X_s h_{ifg} \text{ (entalpía considerando el proceso isentrópico)}$$

$$h_{is} = 556.54 + 0.915 \times 2167.2 = 2539.5 \text{ KJ/KG}$$

tomando los siguientes valores promedio de eficiencia en las turbinas (valor estimado según experiencia).

* NOTA: Para los cálculos de los turbos 162 y 3, las potencias generadas de estos se toman de la tabla No.36, del inciso III.6 de este capítulo.

NI eficiencia interna = 0.85

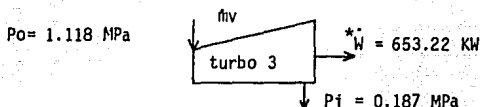
Nm eficiencia mecánica = 0.7

$$h_{ir} = (h_{is} - h_o) NI + h_o = 2575.96 \text{ KJ/KG}$$

de la primera ley de la termodinámica

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{W}}{162 (h_o - h_{ir}) \times Nm} = 2.14 \text{ KG/SEG}$$

Las condiciones del vapor en el turbogenerador 3 son:



siguiendo el mismo procedimiento que el anterior y resumiendo se tendrá:

Entrada	Salida
Po = 1.118 MPa	Pi = 0.187 MPa
ho = hg = 2782.4 KJ/KG	Xs = 0.89
So = Sg = 6.5473 KJ/KG°K	his = 2470.2 KJ/KG
	hir = 2517.03 KJ/KG
$\dot{m}_v = 3.52 \text{ KG/SEG}$	

obteniendo con esto, que la energía consumida en los turbogeneradores es:

$$E_1 = \dot{m}_v (h_o - h_{ir})_1 + \dot{m}_v (h_o - h_{ir})_3$$

$$\underline{E_1 = 2070.73 \text{ KW}}$$

- Turbinas de Molinos.

En el Ingenio Casasano se cuenta con cuatro molinos, los dos primeros de marca A & W Smith y los otros dos Dibert Bronco RT y con las siguientes características:

Molino Núm.	Dimensiones(m)	w(rpm)	V(ft/min)
1	0.83ø x 1.37	5.28	45.12
2	0.83ø x 1.37	5.28	45.12
3	0.83ø x 1.37	5.48	46.83
4	0.83ø x 1.37	5.48	46.83

como promedio, se tiene una molienda de:

2000 Ton. Caña/dfa

y el porcentaje de fibra en la caña es del 15%.

Haciendo uso de la fig. 3.1, obtenemos las potencias demandadas en los molinos:

Molino	Potencia (KW)
1 250 HP	= 186.42
2 250 HP	= 186.42
3 254 X 0.95 HP	= 359.87
4 254 X 0.95 HP	= 359.87

Las potencias demandadas por los molinos 3 y 4 disminuyen debido a que - ambos son accionados por una misma turbina y las pérdidas mecánicas por transmisión son menores y la potencia demandada disminuye un 5% (2).

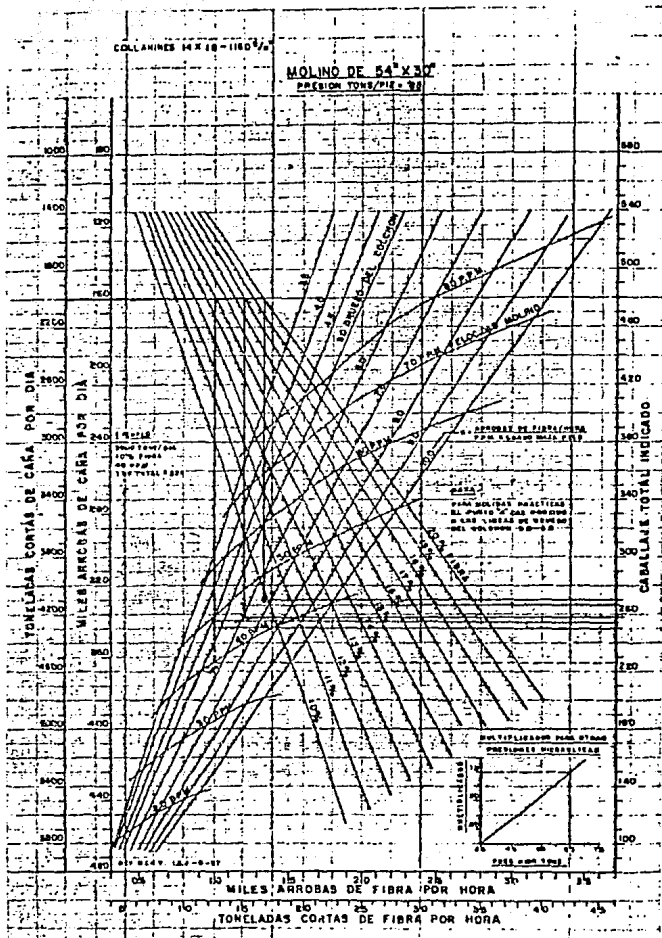
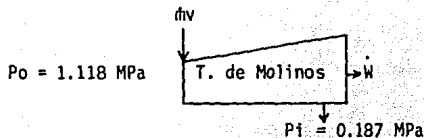


Fig. 3.1.- Potencia requerida por un molino de caña en función de: dimensión y presión del molino, cantidad de caña molida, porcentaje de fibra y velocidad del molino.

Fuente: Manual Ingenios Azucareros Cubanos, 1983

La potencia total requerida es 732.71 KW, las condiciones del vapor son:



entrada

$$P_o = 1.118 \text{ MPa}$$

$$h_o = h_g = 2782.4 \text{ KJ/KG}$$

las eficiencias son: $NI = 0.85$

$$Nm = 0.7$$

con lo que procediendo de la misma manera a la que se siguió en los tur-
bogeneradores

$$P_i = 0.187 \text{ MPa}$$

$$X_s = 0.89$$

$$h_{is} = 2470.2 \text{ KJ/KG}$$

$$h_{ir} = 2517.03 \text{ KJ/KG}$$

aplicando nuevamente la primera ley de la termodinámica

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{W}}{(h_o - h_{ir}) \times Nm}$$

sustituyendo valores obtenemos

$$\dot{m}_v = 3.94 \text{ KG/seg}$$

Para efectos de cálculos se consideró que una turbina es la que nos proporciona una potencia total de 732.71 KW, lo que realmente no es así, ya que se cuentan con 3 turbinas en total.

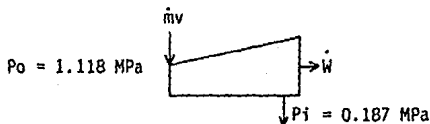
El consumo de energía es:

$$E_2 = \dot{m}v(h_o - h_{ir}) = \underline{1045.56 \text{ KW}}$$

- Turbinas de Centrífugas.

Se cuenta con dos turbinas de 300 HP (223.7 KW) cada una marca Murray.

Las condiciones del vapor en las turbinas es:



con lo que auxiliandonos de tablas de vapor, siguiendo los mismos procedimientos anteriores y considerando

$$N_m = 0.7$$

$$N_I = 0.85$$

tendremos:

entrada	salida
Po = 1.118 MPa	Pi = 0.187 MPa
ho = hg = 2782.4 KJ/KG.	Xs = 0.89
	his = 2470.2 KJ/KG
	hir = 2517.03 KJ/KG

NOTA: Los valores tomados para NI y Nm, son valores estandar promedio que están por arriba de los reales debido a las condiciones de los equipos, por lo que el cálculo es conservador.

$$\dot{m}v = \frac{\dot{W}}{(h_o - h_{ir}) \times Nm}$$

$$\dot{m}v = 2.4 \text{ KG/seg (por las dos turbinas)}$$

energía consumida

$$E_3 = \dot{m}v (h_o - h_{ir})$$

$$\underline{E_3 = 636.8 \text{ KW}}$$

- Turbinas de Ventiladores.

Los ventiladores de tiro inducido y forzado están acoplados a turbinas de vapor marca Wing con capacidades de:

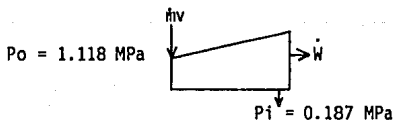
$$1.- 40 \text{ HP (29.8 KW)}$$

ambos con reductor de velocidad.

$$2.- 45 \text{ HP (33.58 KW)}$$

En total son 63.38 KW los que consumen ambas turbinas.

Las condiciones del vapor son:



Procediendo de la misma manera que anteriormente

entrada

salida

$$P_o = 1.118 \text{ MPa}$$

$$P_i = 0.187 \text{ MPa}$$

$$h_o = h_g = 2782.4 \text{ KJ/KG}$$

$$X_s = 0.89$$

$$h_{is} = 2470.2 \text{ KJ/KG}$$

$$h_{ir} = 2517.03 \text{ KJ/KG}$$

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{W}}{(h_o - h_{ir}) \times Nm}$$

$$\dot{m}_v = 0.34 \text{ KG/seg}$$

y la energía consumida

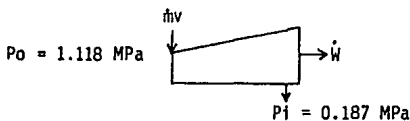
$$E_4 = \dot{m}_v (h_o - h_{ir})$$

$$E_4 = 90.23 \text{ KW}$$

- Bombas de Agua en Calderas.

Estas son accionadas por dos turbinas de vapor marca Copus Y Sulzer de 45 HP (33.57 KW) y 78 HP (58.2 KW) a 3550 rpm cada una.

Las características del vapor en estas turbinas es



de la misma manera que anteriormente se tiene:

entrada	salida
$P_o = 1.118 \text{ MPa}$	$P_i = 0.187 \text{ MPa}$
$h_o = h_g = 2782.4 \text{ KJ/KG}$	$x_s = 0.89$
	$h_{is} = 2470.2 \text{ KJ/KG}$
	$h_{ir} = 2517.03 \text{ KJ/KG}$

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{W}}{(h_o - h_{ir}) \times Nm}$$

$$\dot{m}_v = 0.493 \text{ KG/seg}$$

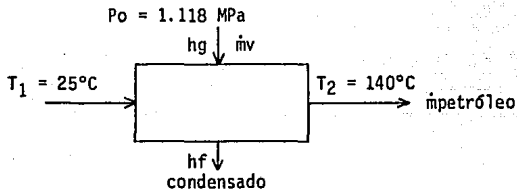
por lo que la energía consumida es:

$$E_g = \dot{m}v (h_o - h_{ir})$$

$$E_g = 130.8 \text{ KW}$$

- Calentador de Petróleo.

En promedio se bombean 105 lt/min de 25°C a 140°C, el cual se calienta con vapor en un cambiador de calor.



propiedades del petróleo

$$\rho_r = 0.8$$

$$\rho_{\text{petróleo}} = 800 \text{ Kg/m}^3$$

$$C_p = 0.556 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{C}} = 1.293 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

realizando el balance de energía

$$\dot{m}v h_{fg} = \dot{m}_{\text{petróleo}} C_p \Delta T$$

donde $\dot{m}_{\text{petróleo}} = 1.4 \text{ Kg/seg}$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 115^\circ\text{C}$$

$$h_{fg} = 1997.1 \text{ KJ/KG}$$

despejando y sustituyendo valores:

$$\dot{m}_v = 0.104 \text{ Kg/seg}$$

por lo que la energía consumida será de:

$$E_G = \dot{m}_v hfg$$

$$E_G = 207.7 \text{ KW}$$

- Eyectores.

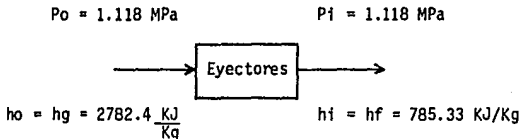
Se tienen eyectores marca Whiler de vapor de 2 pasos, para dar un vacfo de 60 cm de agua.

Los eyectores son equipos que sirven para realizar el vacfo a los evap^o radores y tachos. Utilizan vapor directamente de las calderas, así tam^o bién sirven para extraer los gases incondensables.

Actualmente no se cuenta con una metodología precisa para el cálculo de vapor que requieren estos equipos. Según pruebas de técnicos azucare^o ros el vapor consumido por estos equipos está alrededor de las 24,000 lb/hr⁽³⁾.

$$\dot{m}_v = 3.024 \text{ Kg/seg}$$

Las caracterfsticas del vapor son:



con lo cual la energía consumida es igual a:

$$E_7 = \dot{m}v (h_o - h_i) = \dot{m}v h_{fg}$$

$$E_7 = \underline{6039.2 \text{ KW}}$$

- Destilería.

Se toma como valor estimado⁽⁴⁾ y es de:

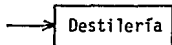
$$\dot{m}v = 6705.65 \text{ lb/hr} = 0.845 \text{ Kg/seg}$$

Este valor es un dato promedio que se pudo obtener debido a que cuando deja de funcionar la fábrica de azúcar, solamente una de las calderas queda funcionando y es un valor muy aproximado según técnicos azucareros.

Las características del vapor son:

$$P_o = 1.118 \text{ MPa}$$

$$h_o = h_g = 2782.4 \text{ KJ/Kg}$$



$$P_i = 1.118 \text{ MPa}$$

$$h_i = 785.33 \text{ KJ/Kg}$$

por lo que la cantidad de energía consumida en destilería es:

$$E_8 = \dot{m}v (h_o - h_i) = \dot{m}v h_{fg}$$

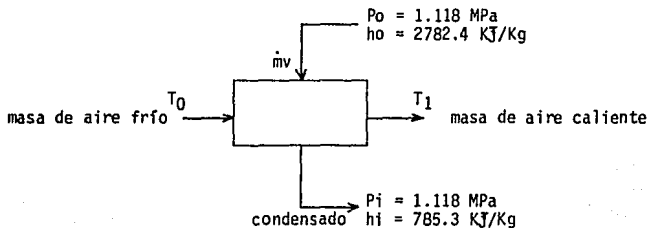
$$E_8 = \underline{1687.55 \text{ KW}}$$

- Secado de azúcar.

En el secado de azúcar se usa un cambiador de calor, para el calenta-

miento del aire que pasará por el secador.

Las características del mismo son:



La cantidad de aire que tendrá que pasar por el secador será:

$$A = \frac{1500 Ph}{H_1 - H_0} \text{ [Kg/hr]}$$

donde:

A = peso del aire que debe pasar por el secador en Kg/hr.

P = cant. de azúcar por secar [Kg/hr] = 200 ton/día = 8333.3 Kg/hr.

h = contenido de humedad del azúcar = 0.02.

H_0 = peso del vapor de agua contenido en el aire saturado, a la temperatura T_0 de entrada del calentador de aire en g/Kg.

H_1 = peso del vapor de agua contenido en el aire saturado, a la temperatura T_1 de salida del secador g/Kg.

Para $T_0 = 27^\circ\text{C}$ de la fig. 3.2, tendremos ⁽⁵⁾

$H_0 = 0.023 \text{ Kg agua/Kg aire}$

$H_1 = 23.0 \text{ gr/Kg aire}$

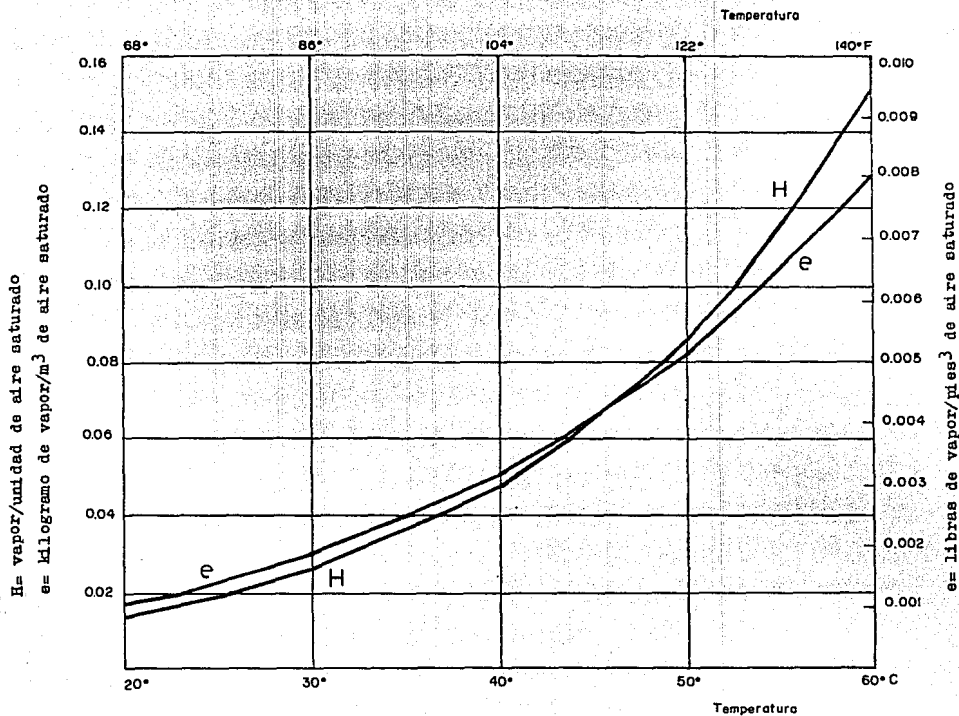


Fig.3.2.-Peso del vapor de agua por unidad de peso y por unidad de volumen de aire

Para $T_1 = 50^\circ\text{C}$, de la misma fig. 3.2, obtendremos:

$$H_1 = 0.085 \text{ Kg agua/Kg aire}$$

$$H_1 = 85.0 \text{ gr/Kg aire}$$

Por lo que:

$$A = 4032.24 \text{ Kg aire/hr}$$

Si $q_1 =$ calor necesario para calentar el peso de aire A

$c =$ calor específico del aire, aproximadamente $0.24 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$

$$q_1 = Ac (T_1 - T_0) = 22257.9 \text{ Kcal/hr} = 25.8 \text{ KW}$$

$q_2 =$ calor necesario para evaporar el agua que contiene el azúcar.

$$q_2 = Ph (607 + 0.3 T_1 - T_0) = 99166.3 \text{ Kcal/hr} = 115.3 \text{ KW}$$

$q_3 =$ calor necesario para calentar el vapor contenido en el peso A de aire.

$c' =$ calor específico del vapor, aproximadamente $0.475 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$

$$q_3 = AH_0c' (T_1 - T_0) = 1013.2 \text{ Kcal/hr} = 1.18 \text{ KW}$$

$$m = q_1 + q_2 + q_3 = 142.28 \text{ KW}$$

la cantidad de vapor a utilizar es:

$$\dot{m}v = \frac{m}{r} = \frac{m}{hfg} = 0.0712 \text{ KG/seg}$$

donde: $r = hfg =$ entalpfa de vaporización a la presión de trabajo del vapor.

la cantidad de energfa consumida es:

$$E_g = \dot{m}v (h_o - h_i) = \dot{m}v hfg$$

$$E_g = 142.2 \text{ KW}$$

- Evaporadores.

La purificación del jugo produjo jugo claro. Este jugo es azúcar disuelta en agua junto con ciertas impurezas. Cuando se ha quitado ya la mayor cantidad posible de estas impurezas queda por eliminar el agua. Este es el objeto de la evaporación.

La evaporación del agua es llevada hasta obtener una determinada concentración del jugo, la cual es medida a partir de los grados Brix - ($^{\circ}\text{Bx}$). Los grados Brix nos indican la concentración de sólidos en suspensión de una solución dada.

Esta es una de las etapas fundamentales del proceso ya que existe un gran consumo de vapor en esta zona, que dependiendo de las condiciones a la que se este trabajando, dependerá la cantidad de vapor utilizado.

Para esta parte de nuestro trabajo tuvimos que realizar algunas consideraciones para poder cuantificar el consumo de vapor. Estas consideraciones se basaron en la experiencia de los tecnicos operarios de la planta, como fuerón: las condiciones de entrada del jugo (temperatura, flujo, $^{\circ}\text{Bx}$) y la concentración del jugo al final ($^{\circ}\text{Bx}$), -- presión del vapor que calienta el primer cuerpo de evaporadores, presión de vacfo del último cuerpo.

Para determinar el vapor requerido en evaporadores se tienen que realizar balances de masa y energfa, aquí presentamos únicamente los ba-

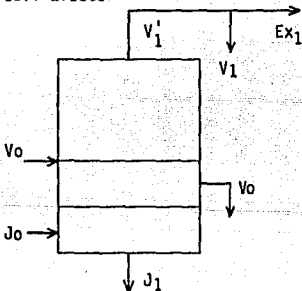
lances del 1er. y 2do efecto, ya que el 3er., 4to., 5to. y 6to. efecto son semejantes al 2do. efecto.

Los datos con los que contamos son:

Jugo a la entrada	= 165528.72 lb/hr (20.86 Kg/seg)
Brix de entrada	= .13
Brix de salida	= .6
Temperatura del vapor	= 118.1°C
Superficie de calefacción	= 11,004 ft ² (1022.3 m ²)
Extracción	= 50,000 lb/hr (6.29 Kg/seg)

Balances de Masa y Energía.

1er. Efecto



Realizando el balance de masa y energía se tiene que V_o será:

$$V_o = \frac{-J_o h_{Jo} + (J_o - V_1') h_{J1} + V_1' h_{gV_1'}}{h_{fg} V_o}$$

donde:

V_1' = vapor al 2do. cuerpo

EX_1 = extracción

V_o = vapor requerido

J_0 = cantidad de jugo

h_J = entalpfa del jugo

V_1^i = vapor producido por el primer cuerpo

h_{fgV_0} = entalpfa del vapor a la entrada

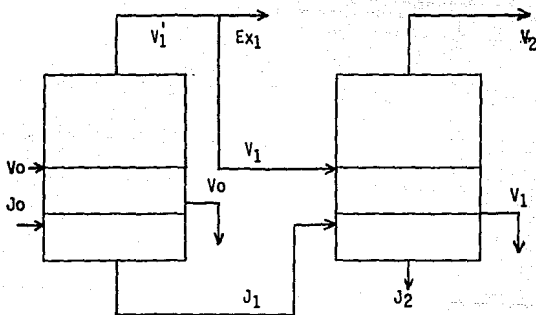
donde V_1^i es otra incognita la cual se determina:

$$V_1^i = R_1 \times S$$

donde :

S = sup. calefacción

* R = cantidad de vapor por hora y por sup. de calef.



En este caso nos interesa saber la cantidad de vapor producido en el 2do. efecto o sea V_2 .

* NOTA: este valor depende de la cantidad de vapor que se quiera extraer para enviarla a tachos, la extracción que se desea y además poder alimentar al 2do. efecto.

De la misma manera que el 1er. efecto.

$$V_2 = \frac{V_1 h_{gv1} + J_1 h_{J1} - V_1 h_{fv1} - J_1 h_{J2}}{h_{gv2} - h_{J2}}$$

En general.

$$V(I) = \frac{V(I-1) h_{fg}(I-1) + J(I-1) h_{J(I-1)} - J(I-1) h_{J(I)}}{h_{g(I)} - h_{J(I)}}$$

$J(I)$ = jugo a la salida del cuerpo I

$V(I)$ = vapor a la salida de cada efecto de 2-6

Todo esto, es un proceso iterativo, en primer lugar se obtiene el vapor que requiere el 1er. efecto, que es el que nos interesa, pero a su vez, este valor debe ser capaz de producir una concentración de 60° Bx en el sexto cuerpo, si no es así se vuelve a dar otro valor de flujo (evaporación) y se calculan nuevamente todas las variables.

Para la solución, se realizó un programa de computadora. Hay que hacer notar, que además de las ecuaciones indicadas anteriormente, dentro del mismo programa se incluyen aquellas que nos dan el calor específico del jugo en función de su concentración (°Bx), además del incremento de la temperatura de ebullición del mismo en función de la concentración (°Bx) y su carga hidrostática, es decir, la altura que alcanza el jugo dentro del evaporador.

A continuación mostramos el diagrama de flujo utilizado para los cálculos indicados anteriormente.

Nomenclatura:

J (\emptyset)	= jugo de caña (licor)	lb/hr
TJ (\emptyset)	= temperatura del jugo	$^{\circ}\text{C}$
X (\emptyset)	= brix inicial	decimal
BX	= brix final deseado	decimal
PE	= presión de llegada del vapor	lb/in ²
PS	= presión final del sextuple	lb/in ²
P (I)	= presión en cada cuerpo	lb/in ²
T (I)	= temperatura del vapor	$^{\circ}\text{C}$
N (I)	= volumen específico	ft ³ /lb
D (I)	= altura de tubos de la calandria	ft
R	= rating	lb/hr • ft ²
EX ₁ , EX ₂	= extracciones	lb/hr
S1	= superficie de calefacción	ft ²
V \emptyset	= vapor de escape requerido	lb/hr
J(1), J(2), J(I)	= jugo de salida del cuerpo	lb/hr
V1, V2	= evaporación producida	lb/hr
W(1), W(2)	= cantidad de vapor al sig. efecto	lb/hr
X(I)	= brix en cada efecto o cuerpo	decimal
W(I)	= vapor generado	lb/hr

hay que hacer notar que si EX₁ = EX₂ = 0

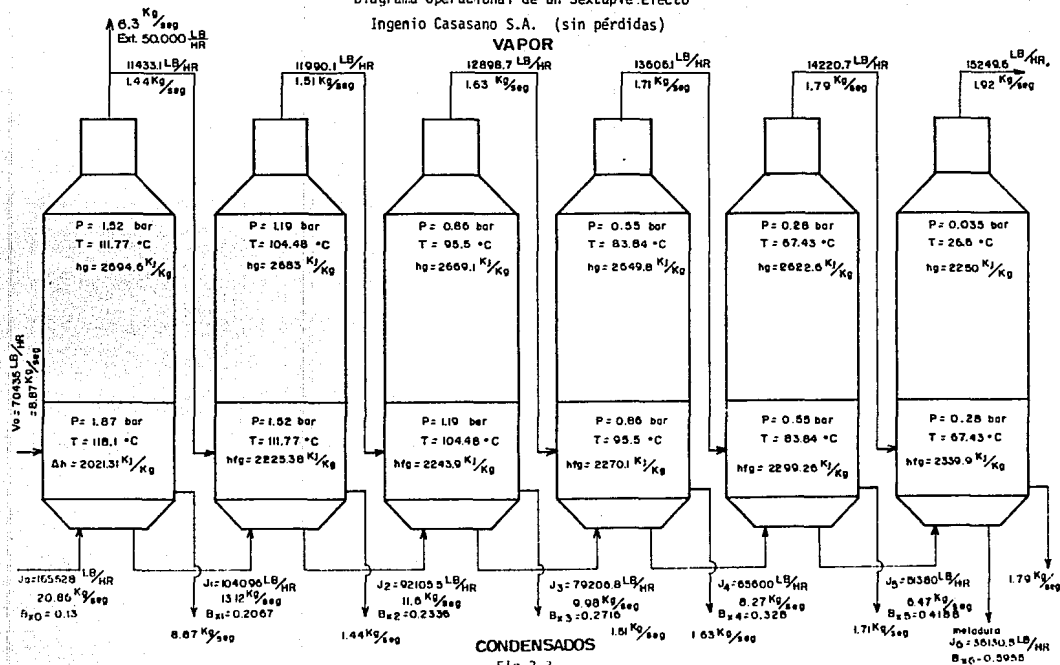
$$W(1) = V1$$

$$W(2) = V2$$

Diagrama Operacional de un Sextuple.Efecto

Ingenio Casasano S.A. (sin pérdidas)

VAPOR



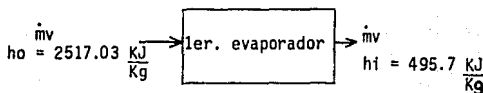
CONDENSADOS

Fig. 3.3

corriendo el programa para los datos que se recabarón en el mismo ingenio, obtendremos los resultados mostrados en la fig. 3.3.

El consumo de vapor es:

$$\begin{aligned}\dot{m}_v &= V_o = 70435 \text{ lb/hr} \\ &= 8.87 \text{ Kg/seg}\end{aligned}$$



Consumo de energía en evaporadores

$$E_{10} = \dot{m}_v (h_o - h_i)$$

$$\underline{E_{10} = 17929.02 \text{ KW}}$$

- Tachos.

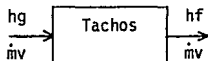
Se cuentan con 7 tachos de calandria, los cuales cinco son para el azúcar crudo y 2 para el refinado; todos de fabricación nacional, dos son de 3.05 mts. de diámetro, uno de 3.96 mts, otros dos de 3.88 mts. y -- los últimos tres de 3.04 mts. La capacidad total promedio es de 21,000 lts.

La cuantificación del vapor que requieren estos equipos es un tanto incierta, ya que no se cuenta con los instrumentos adecuados y las condiciones de operación varían continuamente.

Según técnicos, el vapor que están consumiendo es el vapor que les proporciona la extracción del primer evaporador, siendo un valor estimado:

$$\dot{m}_v = 50,000 \text{ lb/hr} = 6.30 \text{ Kg/s}$$

La energía consumida será igual a:



$$E_{11} = \dot{m}_v (h_g - h_f) = \dot{m}_v h_{fg}$$

- Para los tachos 1 - 5 :

$$P_o = 0.152 \text{ MPa abs} \begin{array}{l} \longrightarrow h_g = h_o = 2694.16 \text{ KJ/Kg} \\ \longrightarrow h_f = h_i = 468.78 \text{ KJ/Kg} \end{array}$$

$$E_{1,5} = \dot{m}_v (h_o - h_i) = 6.3 (2694.16 - 468.78) = 14019.8 \text{ KW}$$

- Para los tachos 6 - 7 ;

$$P_o = 0.29 \text{ MPa abs} \begin{array}{l} \longrightarrow h_o = 2575.96 \text{ KJ/Kg} \\ \longrightarrow h_f = h_i = 556.54 \text{ KJ/Kg} \end{array}$$

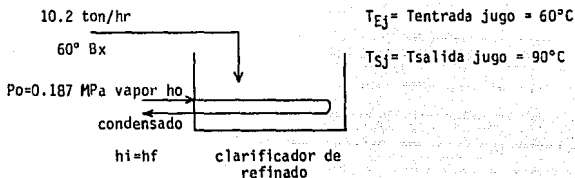
$$E_{11} = \dot{m}_v (h_o - h_i) = 3.114 (2575.96 - 556.54) = \underline{6288.47 \text{ KW}}$$

- Clarificadores de Refinado.

La azúcar estándar obtenida después del centrifugado se descarga en un fundidor donde se agrega agua, para después llevarlo al proceso de refinado. Sabiendo que al fundidor llegan 150 ton/día de azúcar con una ---

concentración de 98° Bx y que a la salida queremos una concentración de 60° Bx, obviamente tendremos que añadir 95 ton/día de agua o sea 10.2 - ton/hr.

Para calcular el vapor que consume el clarificador de refinado tendremos que hacer un balance de masa y energía, conociendo las condiciones de entrada y salida del azúcar fundida.



Del balance de masa y energía se tiene que

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{m}_j C_{pj} (T_{sj} - T_{Ej})}{\Delta h}$$

C_{pj} = calor esp. del jugo = .64 Kcal/Kg°C

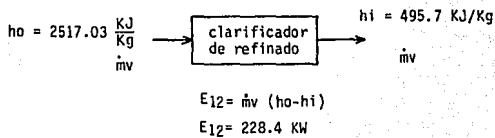
Δh = entalpía del vapor (a P=27.2 psia)=482.8 Kcal/Kg

\dot{m}_j = 10.2 ton/hr (gasto de jugo)

Sustituyendo y resolviendo tenemos que

$$\dot{m}_v = 894.26 \text{ lb/hr} = 0.113 \text{ Kg/s}$$

Por lo que la energía consumida será de



- Calentadores de jugo.

Según Hugot⁽⁷⁾, la cantidad de vapor requerido por los calentadores esta en función de las siguientes variables:

$$\dot{m}_v = \frac{Pc (T_v - T_1) \left(1 - e^{-\frac{KS}{Pc}}\right)}{\Delta h_v}$$

Donde.

$\Delta h_v = 482.8 \text{ Kcal/Kg}$ a $P = 27.2 \text{ psia} = 0.187 \text{ MPa}$

$P =$ cantidad de jugo a calentar $= 83260 \text{ Kg/hr}$

$C =$ calor específico del jugo $= 0.922 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$

$T_v =$ temperatura del vapor a $0.187 \text{ MPa} = 120^\circ\text{C}$

$T_1 =$ temperatura del jugo a la entrada $= 25^\circ\text{C}$

$S =$ superficie de calentamiento del calentador (m^2) $= 334.44 \text{ m}^2$

$K =$ coeficiente de transmisión de calor en $\text{Kcal/m}^2/^\circ\text{C/hr}$

el cual depende de

$$K = \frac{PC}{S} \ln \frac{T_v - T_s}{T_v - T_1}$$

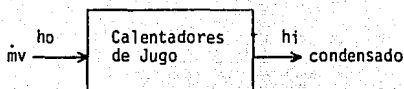
$T_s =$ temperatura del jugo a la salida $= 105^\circ\text{C}$

sustituyendo valores se obtiene que

$$\dot{m}_v = 30583.7 \text{ lb/hr} = 3.85 \text{ Kg/seg}$$

por lo tanto la energía consumida es

$$P = 0.187 \text{ MPa}$$



$$E_{13} = \dot{m}v (h_o - h_i) = 3.85 (2517.03 - 495.72)$$

$$E_{13} = 7782 \text{ KW}$$

Después de haber analizado los equipos los datos obtenidos se muestran en la tabla 3.1.

El consumo total de energía en forma de vapor en el Ingenio, de acuerdo a los cálculos realizados es de 43,583.9 KW.

III.2.2.- Cálculos de consumos de vapor y energía considerando pérdidas de calor en tuberías.

En la tabla 3.2, se muestra la caída de entalpía para cada equipo, por la falta de aislante en las tuberías como una función de: flujo de vapor, longitud de tubería, diámetro de tubería y diferencia de temperaturas entre el vapor en la tubería y el medio ambiente.

Restando en la entalpía inicial de los primeros cálculos la caída de entalpía que se presenta en la tabla 3.2, para cada equipo, obtendremos el nuevo valor de la entalpía con que el vapor entra en cada equipo.

Con lo cual se obtendrán los consumos de vapor finales.

Como resultado de la repetición de los cálculos para los nuevos valores de entalpía, se obtiene la fig. 3.4 y la tabla 3.3.

Tabla 3.1

Consumos Totales de Vapor y Energía por Sistemas
(sin pérdidas en tuberías)

E q u i p o	Gastos de Va- por (Kg/s)	Entalpías (KJ/Kg) Entrada - Salida		Energía Con- sumida (KW)
Turbogenerador 1 ó 2	2.14	2782.4	2575.9	441.91
Turbogenerador 3	3.52	2782.4	2517.03	934.1
Turbinas de Molinos	3.94	2782.4	2517.03	1045.56
Turbinas de Centrífugas	2.40	2782.4	2517.03	636.8
Turbinas de Ventiladores	.34	2782.4	2517.03	90.23
Bombas de Agua a Cald.	.493	2782.4	2517.03	130.8
Calentadores de Petróleo	.104	2782.4	785.3	207.7
Eyectores	3.024	2782.4	785.3	6039.2
Destilerfa	.845	2782.4	785.3	1687.55
Secador	.0712	2782.4	785.3	142.2
Evaporador	8.87	2517.03	495.7	17929.02
Tachos 1 al 5	6.3	2694.16	468.78	14019.8
Tachos 6 y 7	3.114	2575.9	556.54	6288.47
Clarificador de Refinado	0.113	2517.03	495.7	228.4
Calentadores de jugo	3.85	2517.03	495.7	7782
			Total	43583.9 KW

NOTA: En el total no se considera la suma de tachos 1-5, debido a que el vapor que se utiliza para estos, viene del mismo jugo y no de las calderas.

Tabla 3.2

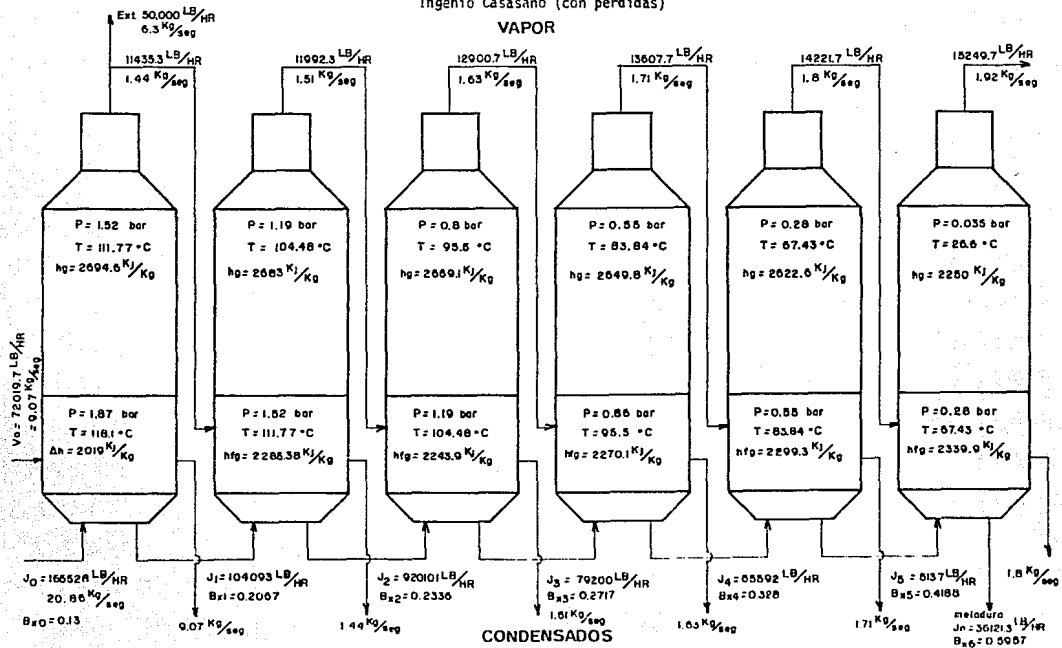
Caída de Entalpía en tuberías

Equipo	Flujo Vapor (Kg/seg)	Long. Tubería (m)	Pérdida de Calor $\frac{W}{M}$	Caída de Entalpía (KJ/Kg)
T. Generador 1 ó 2	2.4	55	1738.3	44.6
T. Generador 3	3.52	55	1738.3	27.2
Turbina Molinos	3.94	50	1738.3	22.0
Turbina Centrífuga	2.4	60	1738.3	43.4
Turbina Ventiladores	0.34	30	1738.3	153.4
Bomba Agua	0.493	35	1738.3	123.4
Calentador Petróleo	0.104	30	1738.3	501.4
Eyectores	3.024	70	1738.3	40.2
Destilería	0.845	80	1738.3	164.6
Secador	0.0712	70	1738.3	1709.0
Evaporador	8.87	31	484.6	1.7
Tachos 1 al 5	6.3	62	965.8	9.5
Tachos 6 y 7	3.114	45	1299.5	18.8
Clarif. Refinado	0.113	32	484.6	137.2
Calentador jugo	3.85	36	969.8	9.1

Fuente: Planos de líneas de vapor, Ingenio Casasano
Manual de Calderas Selmecc, pag. 39

Diagrama Operacional de un Sextuple Efecto
 Ingenio Casasano (con pérdidas)

VAPOR



CONDENSADOS

fig. 3.4

Tabla 3.3

Consumos totales de vapor y energía
(con pérdidas en tuberías)

Equipo	Gastos de Vapor (Kg/s)	Entalpía Entrada-Salida (KJ/Kg)		Energía Consumida (KW)
Turbogeneradores 1 ó 2	2.52	2737.8	2575.96	407.8
Turbogenerador 3	3.76	2755.2	2517.03	895.5
Turbinas de Molinos	4.3	2760.4	2517.03	1046.5
Turbinas de Centrífugas	2.88	2739.0	2517.03	639.3
Turbinas de Ventiladores	0.8	2629.0	2517.03	89.6
Bombas de Agua a Cald.	0.92	2659.0	2517.03	130.6
Calentadores de Petróleo	0.14	2281.0	785.33	209.4
* Eyectores	3.086	2742.2	785.33	6039.2
* Destilería	0.92	2617.8	785.33	1687.55
* Secador	0.49	1073.4	785.33	142.2
Evaporadores	9.07	2515.33	495.7	18318.0
Tachos 1 al 5	6.325	2685.16	468.78	14019.8
Tachos 6 y 7	3.66	2557.1	556.54	7322.0
Clarificador de Refinado	0.12	2379.8	495.7	226.1
Calentadores de Jugo	3.9	2507.9	495.7	7847.6
			Total	45000.55

NOTA: En el total no se considera la suma de tachos 1-5, debido a que el vapor que se utiliza para estos, viene del mismo jugo y no de las calderas.

* Se considera que deberá consumir la misma energía y solo aumentará la cantidad de vapor.

Conclusiones.

- a) Comparando la fig. 3.3 y 3.4, observamos que cuando la entalpía del vapor que calienta el primer cuerpo de evaporadores disminuye, se requiere un mayor consumo de vapor de escape, pero cuando este no es suficiente, se recurre a vapor de relleno que se trae directamente de calderas, lo cual ocasiona frecuentemente caídas de presión de vapor en calderas y esto a su vez provoca un desbalance en el consumo de vapor del Ingenio.
- b) Comparando las tablas 3.1 y 3.3, podemos decir que los consumos de energía son prácticamente idénticos. Pero como en el segundo caso (tabla 3.3), se tienen mayores pérdidas, estas son compensadas con un mayor consumo de vapor lo cual provocará que el proceso sea más ineficiente. Esto se muestra en la siguiente tabla.

Comparación de Cálculos

Caso	Vapor Demandado Kg/s	Energía Consumida KW
sin pérdidas en tuberías	16.87	43583.9
con pérdidas en tuberías	19.68	45000.55

Lo que representa que por las pérdidas tenemos un consumo extra de 17% de vapor el cual tenemos que generar.

III. 3.- Generación de Vapor.

Como dijimos al inicio la generación de vapor la tomaremos de la capa-

acidad nominal de las calderas⁽⁸⁾, las cuales son las siguientes:

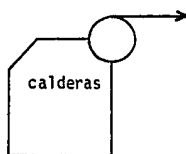
Tabla 3.4

Caldera	Capacidad (ton/hr)
1	15.3
2	11.0
3	15.7
4	11.0
5	<u>16.0</u>

Total = 69.0 Ton/hr = 19.16 Kg/seg

Las condiciones del vapor a la salida de las calderas (cabezal principal) es:

según Ingenieros de la planta, el vapor es saturado seco con lo que se tendrán las siguientes características.



$$P_1 = 1.118 \text{ MPa}$$

$$\dot{m}_v = 19.16 \text{ Kg/seg}$$

$$h_i = h_g = 2782.4 \text{ KJ/Kg}$$

la energía a la salida de las calderas, que finalmente es la que proporciona a la fábrica es

$$E_{\text{cald}} = \dot{m}_v h_i = \dot{m}_v h_g$$

$$\underline{E_{\text{cald}} = 53,310.78 \text{ KW}}$$

Con lo cual se puede satisfacer la energía demandada de 45,000 KW.

III.4.- Producción de Energía en Calderas.

En el Ingenio Casasano se habfa venido quemando combust6leo 6nicamente; en la zafra 86-87, cuatro de sus cinco calderas fuer6n reacondicionadas con hornos para quemar bagazo en combinaci6n con los quemadores de combust6leo.

En esta zafra los consumos de combust6leo y bagazo fuer6n de⁽⁹⁾:

combust6leo	28.6 $\frac{1t}{\text{Ton. ca\~na molida}}$
bagazo	305.0 $\frac{Kg}{\text{Ton. ca\~na molida}}$

En la cual la molienda fu6 de un valor promedio de 83,3 ton. ca\~na/hr.

Si multiplicamos los consumos por las toneladas molidas por hora tenemos:

$$* \text{ combust6leo} = 2656.94 \frac{1t}{hr} = 0.6 \text{ Kg/seg}$$

$$\text{bagazo} = 25406.5 \frac{Kg}{hr} = 7.06 \text{ Kg/seg}$$

considerando los siguientes valores de poderes calor6ficos para el combust6leo y bagazo tendremos:

$$(\text{combust6leo}) P_c = 9506.07 \text{ Kcal/Kg}^{(10)} = 39800 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\text{bagazo}) P_c = 2093.0 \text{ Kcal/Kg}^{(11)} = 8762.9 \text{ KJ/Kg}$$

*NOTA: Densidad del combust6leo es 800 Kg/m^3

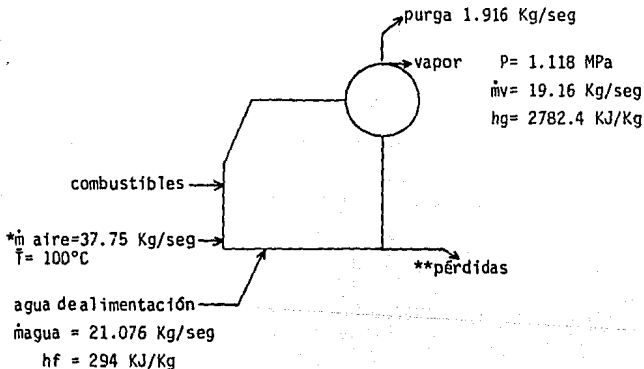
por lo que la energía que proporcionan estos combustibles es

$$E_{\text{comb}} = (\dot{m} P_c) \text{ combustóleo} + (\dot{m} P_c) \text{ bagazo}$$

$$E_{\text{comb}} = 85746.07 \text{ KW}$$

Energía que teóricamente se obtendría si quemáramos al 100% los combustibles, pero no sucede y de todas formas es energía que se consume.

A continuación evaluaremos la energía necesaria o consumida para generar el vapor y las pérdidas que se tienen en las calderas. Para efectos de cálculo, consideremos a las cinco calderas agrupadas en una sola.



* NOTA: El cálculo de flujo de aire, se muestra en el capítulo V.

** NOTA: Dentro de las pérdidas, se considera la energía que se llevan los gases.

haciendo un balance de masa y energía

$$E_{\text{agua}} + E_{\text{comb}} + E_{\text{aire}} = E_{\text{purga}} + E_{\text{cald}} + E_{\text{pérdidas}}$$

$$E_{\text{pérdidas}} = E_{\text{comb}} + E_{\text{aire}} - E_{\text{purga}} - E_{\text{cald}}$$

$$= 85746.07 + 37.75 \times 370.67^{(12)} - 1.1 \times 19.16 \times 2782.4 + 21.76 \times 294$$

$$\underline{E_{\text{pérdidas}} = 47293.3 \text{ KW}}$$

La energía que se aprovecha para llevar el agua de alimentación hasta vapor a la presión requerida es

$$E_{\text{aprocaid}} = E_{\text{cald}} - E_{\text{agua}}$$

sustituyendo valores obtendremos

$$\underline{E_{\text{aprocaid}} = 47114.4 \text{ KW}}$$

Comparando la $E_{\text{pérdidas}}$ y E_{aprocaid} , observamos que de la totalidad de energía suministrada a calderas, más del 50% de esta se pierde para generar el vapor que se utilizará en la fábrica.

Este valor nos indica la alta ineficiencia en el trabajo de las calderas así también nos sitúa en el principal punto de derroche de energía en el ingenio, ya que de la entrada se pierde más de la mitad de la totalidad de energía que se suministra.

Las principales causas de pérdidas de energía en calderas son:

- Energía absorbida por la humedad producto de la combustión del hidrógeno del combustible, E_a .

- b) Energía absorbida por la humedad de los combustibles, E_b .
- c) Energía absorbida por los gases de las calderas, E_c .
- d) Pérdidas por combustible no quemado, E_d .
- e) Pérdidas por radiación del horno y especialmente de la caldera, E_e .
- f) Pérdidas debidas a la mala combustión del carbono que da CO en lugar de CO₂.

De las pérdidas que se pudieron evaluar tenemos

- b) Energía absorbida por la humedad de los combustibles.

$$E_b = G_c w \Delta h$$

G_c : gasto de combustible Kg/s

w : humedad del combustible (decimal)

Δh : energía para evaporar el agua a la presión atmosférica

bagazo $G_c = 7.06 \text{ Kg/s}$

$w = 0.45$

$\Delta h = 2809.2 \text{ KJ/Kg}$

combustible $G_c = 0.6 \text{ Kg/s}$

$w = 0.8$

$\Delta h = 2809.2 \text{ KJ/Kg}$

finalmente se obtiene

$$E_b = 10273.2 \text{ KW}$$

- c) Energía absorbida por los gases de las calderas.

Bagazo: se tiene la siguiente ecuación empírica (13)

$$q = T (1-w) (1.4 m + 0.5/ 1-w - 0.12) \text{ Kcal/Kgbagazo}$$

donde:

q = energía pérdida en Kcal/Kg bagazo

T = temperatura de gas en la chimenea °C

w = humedad del bagazo(decimal)

m = relación aire real/aire teórico

teniendo los siguientes valores

$$\bar{T} = 235^{\circ}\text{C}$$

$$w = 0.45$$

$$m = 1.5^{(14)}$$

obtenemos

$$q = 373.42 \text{ Kcal/K bagazo}$$

$$q = 11037.85 \text{ KW}$$

combustóleo

$$E_{C'} = G_{ge} C_p \Delta T. (15)$$

$$G_{ge} = \frac{700 + O_2 + 4 CO_2 C_c G_c}{3 (CO + CO_2)}$$

$$C_c = 0.8$$

$$G_c = 0.6 \text{ Kg/s}$$

$$C_p = 1.18 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 115 \text{ K}$$

sustituyendo valores obtendremos

$$E_{C'} = 1880.2 \text{ KW}$$

$$E_c = 12918.05 \text{ KW}$$

$$E_b = 10273.2 \text{ KW}$$

$$E_c = 12918.05 \text{ Kw}$$

$$\begin{array}{l} E_d = 13000 \text{ KW} \\ \hline \text{total: } 36191.25 \text{ KW} \end{array} \implies \text{aproximadamente, debido al mal dise\~no de los hogares para el bagazo.}$$

Si a las dos p\u00e9rdidas de energ\u00eda calculadas en calderas agregamos las p\u00e9rdidas debido al combustible no quemado, podemos concluir que aproximadamente el 75% de las p\u00e9rdidas totales en calderas son debidas a la ineficiencia que se tiene en el control de la combusti\u00f3n de los combustibles.

Energ\u00eda El\u00e9ctrica

III.5.-Consumo de Energ\u00eda El\u00e9ctrica.

Para determinar el consumo de energ\u00eda el\u00e9ctrica en el Ingenio, la opci\u00f3n que se sigui\u00f3 fue la siguiente.

En cada uno de los departamentos existentes, se fueron identificando los principales equipos (bombas, motores, etc.) que se utilizan en forma continua en el proceso. A partir de esto, se localizaron dichos equipos en el diagrama de fuerza para conocer su potencia nominal. De lo cual se obtuvo la tabla 3.5.

III.6.-Generaci\u00f3n de Energ\u00eda El\u00e9ctrica.

En el mismo Ingenio se genera la energ\u00eda el\u00e9ctrica que se habra de consumir en el proceso. Para lo cual cuenta con tres turbogeneradores - - -

Tabla 3.5
Consumo de Energía Eléctrica
Ingenio Casasano

Departamento	Potencia	
	HP	KW
Preparación	528.0	393.8
Molinos	184.5	137.6
Clarificación	177.5	132.4
Evaporación	41.0	30.9
Cristalización y Centrifugación	179.8	134.1
Refinado	71.0	53.0
Almacenamiento	60.0	44.8
Calderas	350.0	261.7
Alumbrado	190.0	141.7
Otros	138.5	103.3
Total	1920.3	1432.7

Tabla 3.6

Generación Promedio de Energía Eléctrica

M e s	Dfa	Turbo 1 6 2 KW	Turbo 3 KW	Total KW
Diciembre 86	10	305.0	495.8	300.8
	20	300.0	531.2	831.2
Enero 87	10	325.8	612.5	938.3
	20	339.1	679.1	1018.2
Febrero 87	10	304.1	668.7	972.8
	20	315.0	654.1	969.1
Marzo 87	10	315.0	754.1	1069.1
	20	310.0	770.8	1080.8
Abril 87	10	303.0	758.3	1061.3
	21	305.8	656.2	962.0
Mayo 87	10	307.5	670.8	978.3
	20	315.8	693.7	1009.5
Junio 87	10	300.0	633.3	933.5
	18	300.8	566.6	867.4
Promedio		310.49	653.22	963.23

Fuente: Libro de Registro, Casa de Fuerza. Ingenio Casasano 1987.

Stal-Asea, dos con capacidad de 450 KW y el otro con capacidad de 1000 KW. De los dos turbogeneradores de la misma capacidad uno trabaja y el otro se tiene de repuesto, generan a 440 volts, 60 Hz.

Para el tiempo muerto (fuera de zafra), existe una planta Diesel generadora de 250 KW, Selmec, modelo SCKTAB.

La tabla 3.6, muestra los valores promedio generados, anotados en las corridas para la zafra 86/87.

Comparando la energía demandada con respecto a la energía nominal generada, observamos que la primera es mayor a la segunda. Esto es debido al hecho de que para obtener la energía demandada, nosotros sumamos la totalidad de las cargas, suponiendo que todas están conectadas las 24 horas del día, lo que realmente no sucede debido a las características mismas del proceso. Por tal motivo tenemos que recurrir al factor de uso, que evalúa las horas totales que realmente trabajó el equipo en un período de tiempo, disminuyendo así la energía eléctrica demandada.

Ayandonos en el punto anterior y en los comentarios proporcionados por los operadores de la casa de fuerza (generación eléctrica), en el sentido de que durante la zafra 86/87, el Ingenio nunca se conectó a CFE, podemos concluir que para las condiciones de operación del procesador durante la zafra mencionada el Ingenio fue autosuficiente para cubrir su demanda eléctrica.

Sin embargo se necesita más información para poder evaluar si no se tienen pérdidas o se hace un mal uso de la energía eléctrica.

Consumo de C.F.E.

En los casos que el ingenio no se da abasto para cubrir su demanda eléctrica, cuenta con una línea, con lo cual se puede conectar a C.F.E., cubriendo la tarifa número ocho, correspondiente al Servicio de Alta Tensión.

Planta Diesel.

Para el tiempo muerto (fuera de zafra), la demanda eléctrica es satisfecha con una Planta Diesel, generadora de 250 KW, Selmec, modelo SCKTAB a 900 rpm.

REFERENCIAS

- (1) Ing. David López, distribución de principales equipos --- consumidores de vapor. Zafra 86-87
- (2) Manual de Técnicos Azucareros Cubanos. Edición 1980
- (3) Ing. David López, valor estimado según experiencia, 1987
- (4) Ing. David López, informe de corrida en destilería, 1986
- (5) Hugot, Manual para Ing. Azucareros (pág. 552), 1982
- (6) Hugot, Manual para Ing. Azucareros (pág. 554), 1982
- (7) Hugot, Manual para Ing. Azucareros (pág. 308), 1982
- (8) Manual Azucarero Mexicano, 1987
- (9) Información Estadística, corridas 1987
- (10) Ing. Eduardo H. Goribar. Apuntes de Plantas Termoeléctricas F.I. 1985
- (11) Hugot, Manual para Ing. Azucareros (pág. 623), 1982
- (12) Burghat, Ingeniería Termodinámica (pág. 497), 1984
- (13) Hugot, Manual para Ing. Azucareros (págs. 632-633), 1982
- (14) Hugoth, Manual para Ing. Azucareros (págs. 626-628), 1982
- (15) Apuntes de Máquinas Térmicas, F.I. 1985

CAPITULO 4

IV.- BALANCE DE MASA Y ENERGIA DE LA PLANTA

IV.1.- Introducción.

En el capítulo anterior se evaluaron los consumos de masa y energía de cada uno de los equipos principales y al final se presentó una tabla resumiendo dichos consumos, así mismo, se consideraron pérdidas de calor por falta de aislantes en las tuberías que transportan el vapor.

En el presente capítulo mostramos el diagrama de masa y energía del uso de vapor, para poder cuantificar que tan eficientemente lo utilizan y poder determinar a que se deben las variaciones del consumo de éste.

Por otra parte se cuantifica el consumo de energía por producto terminado, apoyándonos en el diagrama de masa y energía de toda la planta.

Para finalizar el capítulo presentamos una tabla de consumos de energía de un ingenio, que tienen una capacidad de molienda cercana a la de Casa sano, con el objeto de comparar su eficiencia con respecto a otro ingenio.

IV.2.- Diagrama de Masa y Energía del Uso del Vapor.

En el diagrama 4.1, mostramos los flujos de vapor, así como sus propiedades termodinámicas, con el fin de evaluar la energía que posee el vapor en cada uno de los equipos principales.

En el diagrama mencionado se observa que, la entalpía del vapor a la entrada de cada equipo es diferente a pesar de que provienen del mismo cabezal, esto se debe a las pérdidas de calor por falta de aislantes en tuberías, las cuales se estimaron en función de; temperatura del vapor, flujo del mismo y diámetro de la tubería.

En el diagrama se muestran algunos puntos marcados con la letra "F", lo cual indica que en estos lugares se deben tomar lecturas de: gastos, presión y temperatura. En el capítulo siguiente se realiza una propuesta -- acerca de la instrumentación de estos puntos.

De acuerdo a los cálculos del capítulo III y del diagrama mostrado anteriormente se evaluarón los consumos de energía para las diferentes etapas del proceso, los cuales se muestran en la tabla 4.1

T A B L A 4.1

INGENIO CASASANO

CONSUMO DE ENERGIA PARA UNA MOLIENDA
DE 2000 TON. CAÑA/DIA (NOMINAL)

DESCRIPCION	PRODUCIDOS (KW)	CONSUMIDOS (KW)	%
Vapor de proceso	53310.78		
Generación de Potencia		1303.3	2.44
Turbounidades		1905.06	3.57
Calentamiento de Jugo		7847.6	14.72
Evaporadores		18318.0	34.36
Cristalizadores		7322.0	13.73
Otros		8304.05	15.57
Pérdidas		8310.23	15.58
T o t a l:		53310.78	100.00

Otra alternativa que se tiene para obtener la misma tabla 4.1, consiste en medir directamente la totalidad de energía que se consume en cualquiera de sus formas (eléctrica, térmica, química, mecánica, etc.), para cada-

uno de los departamentos que conforman la fábrica. En el cual cada departamento puede contener: calderas, calentadores, turbinas, bombas, compresores, condensadores, etc.

Para que se pueda llevar a cabo lo anteriormente citado, es necesario que la fábrica cuente con una instrumentación mínima indispensable. Todos los parametros leídos, se pueden registrar en un formato como el mostrado por la tabla 4.2 .

El número de tablas como la anteriormente mostrada, se repetirá tantas veces como departamentos haya. Realizadas las mediciones, se suma la totalidad de energía para cada departamento, pudiendo mostrar los resultados tal como se dan en la tabla 4.1 .

De la tabla 4.1, las pérdidas se evaluaron por diferencia debido a la falta de información para calcular éstas, concluyendo que son muy elevadas, siendo 15.58%, teniendo como uno de los motivos el que el vapor de proceso se consideró de capacidades nominales de las calderas, lo cual es falso ya que no trabajan en esas condiciones.

Así también los valores presentados en la tabla 4.1, son un poco mayores que los valores reales, ya que, como recordaremos, los cálculos realizados en el capítulo III se basaron en valores nominales.

Ahora bien, durante la elaboración de este trabajo se tuvo la oportunidad de colaborar en la realización de otro proyecto (1), en el mismo ingenio y en el cual se realizaron mediciones de algunos parametros de las calderas y con los cuales se elaboró la tabla 4.3

60,048.0 kg/hr = 16.68 kg/s (producción global de vapor según tabla 4.3)

T A B L A 4.2

CONSUMO PERIODICO DE ENERGIA POR DEPARTAMENTO
 DEPARTAMENTO _____

PERIODO	ENERGIA ELECTRICA			COMBUSTOLEO				V A P O R				OTRO COMBUSTIBLE			
	KW	KWH.	KJ	KG	T	KJ/KG	KJ	KG	T	KJ/KG	KJ	KG ó M ³	T	KJ/KG	KJ
1															
2															
3															
4															
6															
7															
Subtotal															

Total: _____

Tabla 4.3

Consumo de Bagazo y Combustóleo.
Generación de Vapor en el Inge-
nio Casasano (medidos)

	Caldera No.				
	1	2	3	4	5
kgb/hora	1974.6	3709.3	2827	993.1	-----
kgv/kgb	1.27	1.69	1.41	1.25	-----
kgc/hora	796.4	642.2	701.1	762.4	1029.4
kgv/kgc	11.83	11.83	11.83	11.83	11.83
Vapor gen. del bagazo kg/hora	2508	6269	3986	1241	-----
Vapor gen. del comb/hora	9421	7597	8294	7954	12178
Vapor total gen. kg/hora	11929	13866	12880	9195	12178
Eficiencia de gen. por bagazo η_b	38.7	50	41.8	37	-----
Eficiencia de gen. por combust. η_c	72.5	72.5	72.5	72.5	-----
Eficiencia global de gener. η_g	61.3	60.6	58.7	62.2	72.5

Fuente: Tesis de Grado

Colaboración con el M.I. Alfredo Hernández

por lo tanto, la energía entregada al proceso en forma de vapor será:

$$E = \dot{m}v_{hg} = 16.68 \times 2782.4 = 46,410.3 \text{ KW}$$

Conjuntamente, considerando de acuerdo a comentarios de operarios de la -- planta que algunos de los equipos que intervienen en el proceso trabajan -- aproximadamente al 80% de su capacidad nominal, podemos reajustar la tabla- 4.1, obteniendo como resultado final la tabla 4.4

T A B L A 4.4

INGENIO CASASANO

Consumo de energía para una molienda
de 2000 ton caña/día (reajustada)

DESCRIPCION	PRODUCIDOS (KW)	CONSUMIDOS (KW)	%
Vapor de Proceso	46410.43		
* Generación de Potencia		1042.64	2.24
Turbounidades		1905.6	4.1
Calentamiento de jugo		7847.6	16.9
Evaporadores		18318.0	39.58
Cristalizadores		7322.0	15.7
* Otros		6643.24	14.3
Pérdidas		<u>3331.35</u>	<u>7.18</u>
T o t a l :		46410.43	100.00

Observando y analizando la tabla 4.4, concluimos que las pérdidas representan el 7.18% de la energía suministrada al proceso, siendo las principales causas de éstas, las siguientes:

- La energía que se va con los condensados no recuperados,
- La gran cantidad de fugas, y
- Falta de aislante en equipos.

* NOTA: Trabajan al 80% de su capacidad nominal.

Cabe mencionar que en la tabla 4.1 ó 4.4, no se consideran los consumos de vapor (energía) de tachos 1 al 5, debido a que el vapor que utilizan proviene de la evaporación del jugo de Evaporadores.

Los equipos con mayor consumo de energía o bien de vapor, son:

- Evaporadores
- Calentadores de jugo
- Cristalizadores (tachos)
- Eyectores

debido a que utilizan toda la entalpía de transformación que posee el vapor, es decir, el vapor sale de estos equipos como condensado .

Realizando un breve resumen del capítulo anterior y del presente, se tiene:

- Vapor Consumido	Energía Consumida
16.87 kg/s	43,683.9 kw (sin pérdidas)
19.68 kg/s	45,000.55 kw (con pérdidas)
- Vapor Generado	Energía Generada (proceso)
19.16 kg/s	53,310.78 kw (ideal)
16.68 kg/s	46,410.43 kw (real)
- Ganancia Util de Energía en el Generador (calderas)	
	41,022.25 kw (real)
<u>Bagazo</u>	Energía del Bagazo
7.06 kg/s	61,866.07 kw (ideal)

Combustóleo	Energía del combustóleo
0.6 Kg/s	23,880. kw (ideal)
total:	83,746.07 kw (ideal)
<hr/>	
* Bagazo	Energía del bagazo
2.64 Kg/s	23,134.05 kw (real)
* Combustóleo	Energía del combustóleo
1.06 kg/s	42,188.0 kw (real)
total:	65,332.05 kw (real)

Tomando los valores reales del resumen anterior y considerando que el agua se inyecta a las calderas con una temperatura de 70°C, observamos que las pérdidas de energía en calderas es de 24,299.8 kw, lo que representa un - 37.2% de la energía suministrada por los combustibles; de lo que concluimos que las mayores pérdidas de energía se tienen en calderas, debido a -- los siguientes factores:

- Falta de control del aire para la combustión.
- Mala alimentación del bagazo.
- Disminución del poder calorífico del bagazo debido a la inyección del vapor para su dispersión.
- Falta de aislamiento.

IV.3.- Consumo de Energía por Producto Terminado.

El cálculo del consumo de energía por producto terminado se realiza en base a la cantidad de azúcar producida y la cantidad de energía obtenida de la - combustión del combustible (combustóleo y bagazo).

*NOTA: Obtenidos de la tabla 4.3

Diagrama de Proceso
Ingenio Casasano

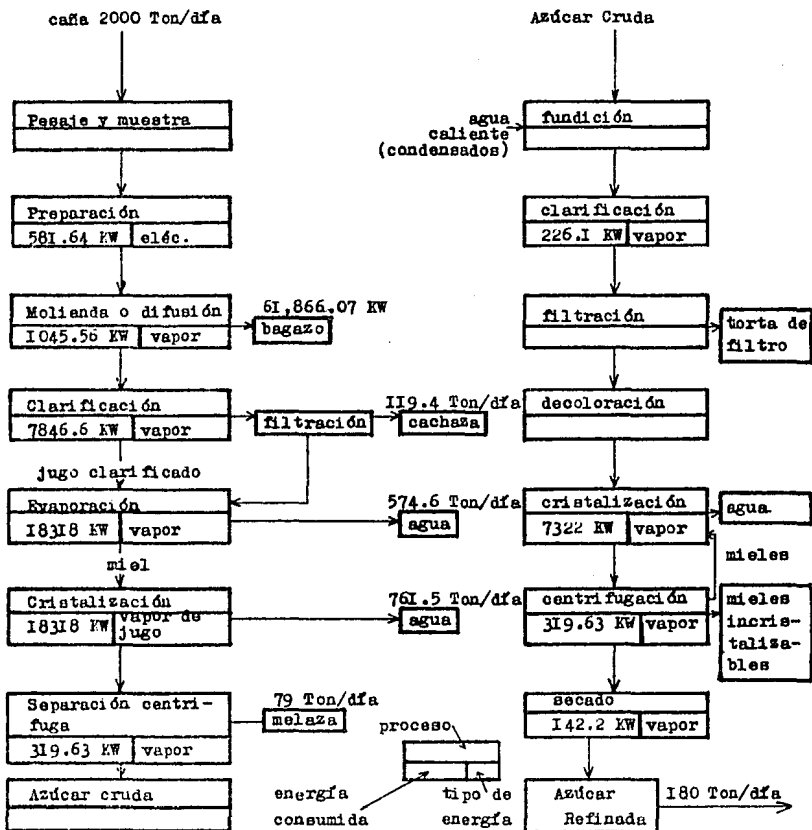


Diagrama 4.2

* Azúcar producida = 180 ton/día

Energía de Combustibles = 65,322.05 kw

Por lo que el consumo de energía por producto terminado será igual a:

$$7.48 \times 10^6 \text{ Kcal/ ton. azúcar}$$

En el diagrama 4.2, mostramos un balance de masa y energía de todo el proceso en el cual tenemos los consumos de energía para cada proceso, así como las entradas y salidas de los principales equipos.

Este diagrama es con el objeto de mostrar los principales focos de consumo de energía de todo el proceso.

De los equipos con mayor uso de vapor mencionamos a los Evaporadores y ---Tachos, es en ellos donde existe una variación de consumos de energía, ya que los consumos de energía dependen de la carga a la que están trabajando, donde a su vez esta carga depende de la cantidad de caña molida. En la zona de preparación de caña es en donde los consumos de energía eléctrica se elevan en el momento de aumentar la molienda de caña, lo cual provoca mayores demandas de vapor en los turbogeneradores.

Cuando la cantidad de jugo que llega a evaporadores se eleva, provoca desbalances en el sistema ya que el vapor de baja presión no es suficiente para cubrir la demanda, lo cual ocasiona se utilice vapor vivo del cabezal principal para cubrir la demanda.

Esto es una teoría que se tiene del comportamiento del proceso, en nuestros cálculos es un hecho y no una teoría, lo cual se observa en el diagrama 4.1.

* NOTA: Promedio de corridas, zafra 86-87

Otra teoría que se tiene es de que no es falta de vapor, sino falta de -- energía en el mismo, lo cual se tiene que compensar con mayor consumo de - vapor, lo que provocará desbalances en el sistema.

Esto se puede comprobar colocando la instrumentación adecuada en los prin-
cípales puntos.

IV. 4.- Comparaciones.

Para tener una idea de la eficiencia energética que se tiene en el Ingenio-
Casasano, se compara con los consumos de un Ingenio similar en Cuba con una
molienda similar.

A continuación presentamos los consumos energéticos para un Ingenio cubano

TABLA 4.5
INGENIO CUBANO
Consumo de energía para una molienda
de 2400 ton. caña/día

Descripción	Producidos (KW)	Consumidos (KW)	%
Vapor de proceso	34,534.4		
Generación de potencia		1661.7	4.82
Turbounidades		1,593.0	4.61
Calentamiento de jugo		3,08.1	8.85
Evaporadores		14.720.76	42.63
Cristalizadores		8,871.99	25.69
Otros y pérdidas		<u>4,627.86</u>	<u>13.4</u>
T o t a l:		34,534.4	100.0

Eficiencia de la caldera 57.5%

Fuente: Hornbor 1975, La Habana, Cuba.

Considerando un valor promedio de rendimiento de la fábrica del 10%, la can-
tidad de azúcar producida es:

240 TON.AZUCAR/DIA

Puesto que la eficiencia de la caldera es del 57.5%, la energía consumida en calderas debido al quemado del combustible (bagazo) es:

$$\frac{34534.4}{0.575} = 60,059.8 \text{ kw}$$

$$E = 60,059.8 \text{ kw}$$

Por tal motivo, el consumo de energía por producto terminado para un ingenio cubano es

$$5.16 \times 10^6 \text{ Kcal / Ton. azúcar}$$

De todo lo anterior, podemos concluir que:

- Los consumos de energía porcentualmente son similares para los dos ingenios, pero analizando totales observamos que Casasano consume mucho mayor energía y a su vez más vapor, teniendo como referencia que tienen capacidades de molienda semejantes.
- La eficiencia de calderas de Casasano es un poco mayor que la eficiencia de las calderas del ingenio cubano;

Ingenio	Eficiencia de Caldera %
Casasano	62.8
Cubano	57.5

Esto se debe a que en el ingenio Casasano, además de quemar bagazo se quema combustóleo para poder cubrir la demanda energética del proceso, con esto se "mejora" la combustión y se eleva la eficiencia de la caldera, mientras que en el ingenio Cubano, únicamente se quema bagazo. Este hecho repercute en el ingenio Casasano desde el punto de vista económico en un mayor costo de operación de la fábrica y desde el punto de vista energético en un mayor consumo de energía debido a la ineficiencia con que se operan las calderas.

- Comparando los consumos de energía por unidad de producto terminado en el Ingenio Casasano se consume un 45% de energía de más de la que consume el ingenio cubano para una misma cantidad de producto terminado, tal como --- muestra la tabla 4.6

TABLA 4.6
Consumo de energía por producto final

Ingenio	$\times 10^6$ Kcal/ton. azúcar
Casasano	7.48
Cubano	5.16

Con todo lo anteriormente expuesto, se observa que, el Ingenio Casasano -- está utilizando de una manera menos eficiente la energía que el Ingenio -- Cubano.

Referencias:

- 1) M.I. Alfredo Hernández. Tesis de grado. Aprovechamiento energético del bagazo de caña.- 1987
- 2) Hornbor, La Habana, Cuba.- 1975

CAPITULO 5

V.- SUGERENCIAS DE MEJORAS ENERGETICAS EN LA PLANTA

En este capítulo nos enfocaremos a enumerar y analizar algunas sugerencias que, consideramos importante para mejorar el uso de la energía, dentro del ingenio azucarero de Casasano de acuerdo al análisis realizado en dicha planta.

Como primera etapa del capítulo, se mencionan las principales propuestas tendientes a realizar un mejor uso de la energía, sin llegar a un análisis detallado de las mismas. Como segunda parte, se eligen tres de estas propuestas, con la idea de realizar un pequeño estudio económico de cada una de ellas, para mostrar su factibilidad de llevarse a cabo.

V.1.- Propuestas para el Mejoramiento Energético

a) Instrumentación.

Un sistema que indique los consumos de energía es esencial para el control y evaluación de cualquier programa de conservación de energía.

Se debe tener especial cuidado en las mediciones de flujo de combustibles, vapor de proceso, agua de enfriamiento, condensado, líquidos de desecho, aire caliente, flujos de proceso, electricidad y todos los elementos utilizados como formas de la energía dentro de la planta.

En algunas aplicaciones de la energía tales como la combustión, será necesario la medición y/o el control en cada uno de los puntos de aplicación para asegurar su empleo eficiente.

Son necesarios pues métodos efectivos de medición para controlar, evaluar y administrar los esfuerzos para conservar la energía.

La selección apropiada del equipo de medición y su uso efectivo, son tan importantes como el mismo programa de conservación de energía y debe hacerse notar al iniciar el desarrollo del programa.

b) Problemas Operativos.

Preparación de Caña.

En la zona de preparación, se observó variaciones en la carga de caña, la cual repercute en la demanda de energía eléctrica; creemos que esto se podría corregir de las siguientes maneras:

- Recalculando los volantes de inercia que poseen los motores eléctricos de las cuchillas. (Un volante es un elemento giratorio que actúa como depósito de almacenamiento de energía, cuando el trabajo no se consume tan rápidamente, cuando es aplicada la potencia o fuerza motriz). Un volante correctamente proyectado mantiene la fluctuación de velocidades dentro de los límites adecuados y hace posible que el motor entregue la energía en cantidad casi constante; lo que en este caso no está sucediendo.
- O bien, colocando niveladores de caña, los cuales únicamente deberán pasar la cantidad de caña a cortar por los juegos de cuchillas.

Con estas medidas, se podrán eliminar los picos de demanda de energía eléctrica.

Generación de Vapor.

Se observó que el combustóleo inyectado a calderas es atomizado con vapor de alta presión y el bagazo quemado dentro de ellas es esparcido mediante vapor de alta presión, lo cual provoca:

- Pérdida de agua de calderas.
- Limpieza frecuente de quemadores.
- Pérdidas caloríficas extras.
- Reducción del poder calorífico del bagazo, por lo tanto un mayor consumo de combustóleo.
- Aumento de la humedad de los gases de la chimenea.

Considerámos que el vapor podría ser sustituido por aire comprimido, siempre y cuando se balancease con los tiros de los ventiladores, para no provocar excesos de aire inadecuados.

Reducción de Tiempos Pérdidos.

Uno de los principales problemas del ingenio son sus tiempos perdidos, es decir el tiempo que para el ingenio como consecuencia de fallas en los equipos.

Por lo que sugerimos, analizar todos los paros que se presentan, tratar de determinar las frecuencias de estos e implantar programas de mantenimiento preventivo a dichos equipos así como programas tendientes para hacer un buen uso de los equipos.

c) Problemas de Mantenimiento.

Aislamiento Térmico.

Casi la totalidad de las líneas de vapor carecen de aislantes térmicos, con lo que las pérdidas de calor del vapor al medio ambiente son mayores,

provocando que la energía que lleva el vapor se reduzca a valores más bajos que los supuestos.

La poca tubería que aún cuenta con aislante, son tantos los años que ha tenido dicho aislante que, en la actualidad podemos decir ha perdido sus características para las cuales fué fabricado, ya que en promedio la vida útil de un aislante para tubería es de 8 años.

Por lo anterior, se recomienda, aislar nuevamente la totalidad de las líneas de vapor, así como aquellas que manejen fluidos calientes.

Corrosión de tubería en Calderas.

En la visita que se realizó antes de zafra, se observaron los tubos de agua de las calderas, los que presentaban una considerable corrosión, tanto interna como externa.

- Corrosión Interna.

Se presenta debido a que el ingenio no cuenta con una planta de tratamiento de agua de inyección a calderas.

Proponemos la instalación de una planta de tratamiento, ya que el único tratamiento que se le da al agua actualmente consiste en; agregar sustancias antiespumantes, controladoras del PH y sustancias reductoras de dureza. Las cuales no son suficientes para evitar la corrosión.

- Corrosión Externa.

La cual es debida al azufre y vanadio que contiene el combustible.

Esta se podría reducir quemando un combustible de mejor calidad o con la utilización de aditivos.

d) Calor de Desperdicio.

La energía que llevan los gases producto de la combustión, es considerable, ya que la temperatura con que salen es en promedio 250°C. Por tal motivo, sería conveniente aprovechar dicha energía en vez de tirarla a la atmósfera.

Entre algunas alternativas para aprovechar la energía que llevan los gases tenemos; calentar el agua de alimentación a calderas, calentar el aire que se utilizará en la combustión, utilizarlos para secar el bagazo que se quemará en calderas, etc.

e) Alternativa Energética del Ingenio.

En base a experiencias en otros países, el ingenio podría trabajar como una planta termoeléctrica en los períodos fuera de zafra. Para llevar a cabo esta alternativa, se tendría que realizar un estudio minucioso, con la finalidad de determinar la factibilidad de que este proyecto se lleve a cabo.

Hay que hacer notar que, el estudio de esta alternativa no es del todo sencilla como parece, ya que además de realizarse un estudio económico técnico, etc., también intervienen intereses sociales y políticos.

V.2.- Breve Estudio Económico de Propuestas.

Las propuestas que se eligieron para este fin son:

- Instrumentación.
- Aislamiento Térmico.
- Calor de desperdicio.

V.2.1.- Instrumentación.

No se cuenta con suficientes instrumentos de medición como: manómetros, termómetros y medidores de flujo. Sin los cuales no se puede realizar una auditoría real de flujos de masa y energía de todo el proceso.

Dentro de las principales variables a medir tenemos:

- . Flujo de vapor por calderas y características de este,
- . Regreso de condensados,
- . Flujo y características de vapor de baja presión,
- . Flujo de vapor a turbogeneradores 1 ó 2,
- . Flujo de combustóleo,
- . Flujo de agua de repuesto,
- . Flujo de guarapo (jugo) a evaporadores,
- . Flujo de vapor a eyectores,
- . Extracción de vapor de evaporadores a tachos,
- . Concentración de CO₂ en los gases de chimeneas.

Estas variables necesitan ser cuantificadas para poder llevar a cabo un monitoreo y saber si el proceso está trabajando adecuadamente.

Tabla 5.I- Medidores

Zona	Tipo de Medidor	Características de equipo	Costo	Proveedor
Calderas (vapor)	Flujo (placa de orifi.)	$\beta = 6''$ $\dot{m} = 160000 \text{ lb/hr}$	\$ 3,143000.	1
	Manómetro (Bourdon)	P= 150 psi	\$ 18,323.+	2
	Termómetro bimetalico	T= 200 °C	\$ 15,445.	2
	Calorímetro		\$ 10,000.++	
Vapor de baja presión (vapor)	Flujo (placa de orifi.)	$\beta = 12''$ $\dot{m} = 160000 \text{ lb/hr}$	\$ 7,643000.	1
	Manómetro (Bourdon)	P= 15 psi	\$ 18,323.	2
	Termómetro bimetalico	T= 130 °C	\$ 15,445.	2
Turbos I ó 2 (vapor)	Flujo (placa de orifi.)	$\beta = 8''$ $\dot{m} = 25,000 \text{ lb/hr}$	\$ 4,643000.	1
	Manómetro (Bourdon)	P= 30 psi	\$ 18,323.	2
Extracción de Evaporadores a Tachos (vapor)	Flujo (placa de orifi.)	$\beta = 20''$ $\dot{m} = 50000 \text{ lb/hr}$	\$ 13,643000.	1
	Manómetro (Bourdon)	P= 30 psi	\$ 18,323.	2
	Termómetro bimetalico	T= 110 °C	\$ 15,445	2
	Calorímetro			
Regreso de - condensados Evap. I y 2	Flujo	$\beta = 10''$ $\dot{m} = 125000 \text{ lb/hr}$ P= 10 psi	\$ 1,287700.	

Nota: Todos los costos son a la fecha del 31 de Octubre de 1987

1 : Ingeniería y Control de Instrumentos Industriales.

2 : Métrica Industrial Mexicana.

+ : Con carátula de 3 I/2".

++ : Por medio de fabricación propia.

Tabla 5.I- Medidores

Zona	Tipo de Medidor	Características	Costo	Proveedor
Regreso de condensados Calent-Clarif (agua)	Flujo	$\beta = 10"$ $\dot{m} = 75000 \text{ lb/hr}$ $P = 10 \text{ psi}$	\$ 1,287700.	
Agua de Lavación (agua)	Temperatura, termómetro	$\beta = 4"$ $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$	\$ 15,445.	
En Evaporadores (vapor)	Flujo-vapor	$\beta = 8"$ $\dot{m} = 70000 \text{ lb/hr}$ $P = 14 \text{ psi}$ $T = 118 \text{ }^\circ\text{C}$	\$ 4,643000.	
	Flujo-jugo(guarapo)	$\beta = 6"$ $\dot{m} = 66000 \text{ lb/hr}$ $T = 110 \text{ }^\circ\text{C}$	\$ 15,229000.	
Calderas (combustóleo)	Flujo	$\beta = 2"$ $\dot{m} = 1140 \text{ lb/hr}$ $P = 14 \text{ kg/cm}^2$	\$ 2,805000.	INTENSA
Eyectores (vapor)	Flujo	$\beta = 6"$ $\dot{m} = 24000 \text{ lb/hr}$ $P = 150 \text{ psi}$ $T = 200 \text{ }^\circ\text{C}$	\$ 3,143000.	

Costo fijo total de instrumentación a la fecha del 31 de Octubre de 1987. \$ 57, 612, 472.0

Conclusión.- Aunque no se ve en forma directa la recuperación del capital invertido en la instalación de los equipos anteriormente mencionados, --- está se obtendrá indirectamente, ya que debido a estos equipos se podrá tener un mejor control del proceso, identificando en un momento dado los puntos que consuman mayor energía de la necesaria.

A continuación presentamos la tabla 5.1, que sugiere los instrumentos que deben ser instalados para cada área del proceso, en la cual se muestra; el tipo de instrumento, sus características y costo de acuerdo a las variables anteriormente mencionadas.

V.2.2.- Aislamiento Térmico.

La aplicación de aislante térmico como un medio eficaz para reducir las pérdidas de calor, es apropiada en una gran cantidad de equipo industrial.

El concepto de aislamiento térmico consiste en una película de material fibroso que cubre un recipiente o una tubería que contiene o transporta un fluido caliente y cuya finalidad es reducir las pérdidas de calor.

Existe una gran variedad de materiales aislantes con diferentes propiedades dependiendo de la aplicación y las condiciones de operación; cuyo costo, conductividad térmica y rango de temperaturas en que se utilizan varían sensiblemente.

Se observó que en las tuberías de vapor de alta presión hacen falta aislantes o bien en las partes que sí tiene, se encuentran en muy mal estado.

Los pasos a seguir, para el análisis del aislante son:

a) Evaluar las pérdidas de calor por metro de tubería a causa de la falta de aislante.

b) Elección del aislante a utilizar.

c) Análisis económico por la colocación de aislante.

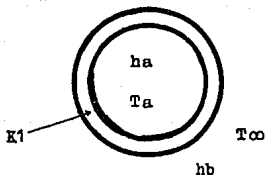
a) Pérdidas de calor en tuberías sin aislante:

Características de la tubería:

Diámetro nominal	6" CED. 40	Materia Acero
Presión del Vapor	150 PSI = 10.34 bar	Temp. Vapor 184.9°C
Temp. Ambiente	30°C	Conductividad K = 45.13 $\frac{W}{m^{\circ}C}$

La cantidad de calor que pasa a través de cualquiera de las capas es la misma.

$$Q = \frac{T_a - T_o}{R_a} = \frac{T_o - T_1}{R_1} = \frac{T_1 - T_{\infty}}{R_b}$$



Donde

$$R_a = \frac{1}{2\pi r_o L h_a} \quad ^{\circ}C/W$$

$$R_1 = \frac{1}{2\pi L K_1} \ln \frac{r_1}{r_o} \quad ^{\circ}C/W$$

$$R_b = \frac{1}{2\pi r_1 L h_b} \quad ^{\circ}C/W$$

ha - Coef. convectivo vapor-tubería

K1 = Coef. conductivo de tubería

hb - Coef. convectivo Tubería-medio ambiente

El Flujo total de calor será

$$Q_T = \frac{T_a - T_b}{R_a + R_I + R_b} \quad \text{Watts}$$

Coefficiente de convección del vapor a la pared interna de la tubería (h_a)

$$h_a = \frac{K_a \text{Nu}}{D} \quad \text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Evaluado h_a , tenemos:

$$K_a = \text{Conductividad del vapor} = .0342 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \quad (1)$$

$$D = \text{Diám. Interior} = 0.1537 \text{ m}$$

$$\text{Nu} = \text{Número de Nusselt}$$

$$\text{Nu} = 0.023 \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^n$$

$$\text{Pr} = \text{Prandt} = 1.163 \quad (2)$$

$$n = 0.3 \text{ (enfriamiento)}$$

$$\text{Re} = \text{Número de Reynolds} = \frac{\rho D V}{\mu}$$

$$\rho = \text{Densidad del vapor} = 5.68 \frac{\text{Kg}}{\text{M}^3}$$

$$\mu = \text{Viscosidad del vapor} = 1.511 \times 10^{-5} \text{ N s/m}^2.$$

$$V = \text{Vel. del vapor} = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

$$\dot{m} = 19.16 \text{ Kg/S (Gasto del vapor del cabezal principal).}$$

$$A = \text{Area de la sección} = .01853 \text{ m}^2.$$

$$V = 181.80 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = 1.05 \times 10^7$$

$$\text{Nu} = 9.97 \times 10^3$$

$$h_a = 2218.43 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

De la superficie de la tuberfa al medio ambiente, se tiene el coeficiente convectivo h_b , donde:

$$h_b = \frac{Nu \cdot K}{D}$$

$$T_w = 150^\circ \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} Nu = \text{Número de Nusselt}$$

$$\bar{T} = 60^\circ \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} K = \text{Conductividad del aire} = .02917 \frac{W}{m^\circ C}$$

$$T_o = 30^\circ \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} D = \text{Diam. ext. de la tuberfa} = .1682 \text{ m}$$

$$Nu = c (Gr Pr)^n$$

c y n para flujo laminar

$$c = .53 \quad n = .25$$

$$Pr = \text{Número de Prandt} = 0.6976 \text{ (6)}$$

Gr = Número de Grashof

$$Gr = \frac{g \beta (T_w - T_{oo}) D^3}{\nu^2}$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$T_w = \text{Temp. de la Sup. de la tuberfa} = 150^\circ C$$

β = Coef. volumétrico de exp. térmica

$$\beta = \frac{1}{T_{oo}} = .0333$$

$$\nu = .1929 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Gr = 5.017 \times 10^8$$

$$Nu = 72.49$$

$$h_b = 12.57 \text{ W/m}^2^\circ C$$

El valor de la resistencia a la transferencia de calor en la tubería con falta de aislante es:

$$R_a = \frac{1}{2\pi r_o h_a} = 9.33 \times 10^{-4} \text{ m}^\circ\text{C/W}$$

$$R_1 = \frac{1}{2\pi K_1} \ln \frac{r_1}{r_o} = 3.17 \times 10^{-4} \text{ m}^\circ\text{C/W}$$

$$R_b = \frac{1}{2\pi r_1 h_b} = .1505 \text{ m}^\circ\text{C/W}$$

$$Q_T = \frac{T_a - T_b}{R_a + R_1 + R_b} = 1020.33 \text{ Watt/m}$$

Recalculando la temperatura de la superficie

$$T_w = Q R_b + T_b = 183.56$$

$$\bar{T} = 76.78^\circ\text{C} \longrightarrow K = .03023 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$V = .20783 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = .6948$$

$$Gr = 6.421 \times 10^8$$

$$Nu = 77.028$$

$$h = 13.84 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$R_b = 0.1367$$

$$Q_T = 1122.81 \text{ W/M}$$

$$T_w = 183.48 \approx 183.56^\circ\text{C}$$

Al no existir gran diferencia en el valor final de T_w (Temp. en la superficie exterior de la tubería), con respecto al anterior, podemos suponer que esta será la temperatura existente en la tubería.

$$T_w = 183.48^\circ\text{C} \text{ (Temp. en la superficie exterior de la tubería).}$$

Comparando T_w con la temperatura del vapor, podemos decir que prácticamente son iguales, por lo cual se concluye la necesidad de instalar aislante térmico en la tubería, para reducir las pérdidas de calor lo más posible.

Los pérdidas de calor por falta de aislante son:

$$Q_T = 1122.81 \text{ W/m}$$

b) Elección del Aislante:

El aislante mas utilizado en las industrias azucareras en sus tuberías es la lana mineral y en algunas ocasiones la fibra de vidrio.

Lana Mineral.-

Es un material aislante que se obtiene fundiendo diversos minerales seleccionados. De su especial proceso de fabricación, resultan conjuntos de finas fibras largas y flexibles de color oscuro, inertes e incombustibles, formándose múltiples celdas de aire para obtener densidad adecuada y baja conductividad térmica. Las fibras de este producto están reforzadas con pequeñas cantidades de resina termofijadora.

Presentación.- Se presenta en forma de colchonetas armadas en rollos y a granel. (7)

Fibra de Vidrio.-

Es un aislamiento preformado que se fábrica con fibra de vidrio -- aglutinada con resina fenólica de fraguado térmico, moldeada para ajustarse a la superficie de la tubería de medidas comerciales, tan

to de fierro como de cobre. Se proporciona con la rigidez necesaria para soportar los abusos mecánicos normales en toda instalación industrial.⁽⁸⁾

Los datos proporcionados por Fabricante fueron: Fibra de Vidrio

Espesor recomendado 2"

$$\text{Pérdidas de calor} = 321 \frac{\text{BTU}}{\text{m-h}} = 308.7 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

Temp. sup. = 40.8 °C

$$\text{Conductividad Térmica} = .29 \frac{\text{BTU.in}}{\text{Ft}^2 \text{ hr}^\circ\text{F}}$$

Período de vida útil = 5 - 8 años

Costo del aislante/.91 m = \$19,720

Costo de instalación/metro = \$3,680 - 18.61% del costo del aislante

Lana Mineral

Espesor recomendado 1 1/2"

$$\text{Pérdidas de calor} = 437 \frac{\text{BTU}}{\text{m-hr}} = 420 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

Temp. sup. = 40°C

$$\text{Conductividad térmica} = .9 \frac{\text{BTU.in}}{\text{Ft}^2 \text{ hr}^\circ\text{F}}$$

Período de vida útil = 7 - 8 años

Costo del aislante/.91 = \$8,784

Costo de instalación/m = 21,216

De los dos materiales aislantes, se selecciono la fibra de vidrio, debido a que preseta menores pérdidas de calor, aunque tiene un costo poco mayor que la lana mineral. Donde este mayor costo de inver-

sión para la fibra de vidrio, será recuperado, debido a que el aislante reducirá las pérdidas de calor a un valor menor que si se utilizara lana mineral. Como consecuencia se tendrá un mayor ahorro de combustible (combustóleo).

Tomando como base los datos de la fibra de vidrio, se realizó el siguiente análisis económico.

c) Análisis Económico.

El objeto de este pequeño análisis, es el de estimar el período de pago y la recuperación del capital por concepto de colocación de aislantes siguiendo la metodología mostrada en la referencia (5).

El tiempo que se tardará en recuperar la inversión, llamado período de pago, se evalúa de la siguiente manera.

$$PI = \frac{CI}{A}$$

donde: PI = período de pago

CI = costo inicial de la inversión

A = ahorro neto semestral

a su vez, $A = (ASC \times PEC) - CSO$

donde: ASC = ahorro semestral de combustible

PEC = precio estimado del combustible

CSO = costo semestral de operación

ASC = ahorro semestral de combustible

el ahorro de energía por la colocación de aislante es

E ahorrada = Esin aislante - E con aislante

E ahorrada = 1122.81 - 308.7 = 814.11 W/M

de planos de las tuberías de vapor de alta presión, leímos que se tiene 535.6 m de tubería de 6 pulgadas de diámetro con lo cual tendremos:

E ahorrada = 436 KW

teniendo que el poder calorífico del combustóleo es de 39.8 MJ/KG, la cantidad de combustóleo ahorrado es

39.4 Kg Combustóleo/hr

considerando una eficiencia de la caldera del 55%, la cantidad total de combustible ahorrado será de:

Comb. ahorrado = 71.63 Kg/hr

sabiendo que la densidad del combustóleo es de 800 Kg/m³ se tiene

Comb. ahorrado = 89.5 lt/hr

finalmente, considerando una zafra promedio de 180 días, se tendrá:

ASC = 386 640 lt/zafra

PEC - precio estimado del combustible

* PEC=62 \$/lt

CSO - costo semestral de operación

el aislante prácticamente no requiere costos de operación, por lo que

CSO = 0

A - Ahorro neto semestral

A = 23'971,680. \$/zafra

* Nota: Precio a la fecha del 30 de Agosto de 1987.

CI = costo inicial de inversión

Costo total aislante/m = \$23 390 (fibra de vidrio)

Longitud de tubería = 535.6 m

CI = \$ 12' 527, 684.0

PI = período de pago

sustituyendo los valores obtenidos, se obtiene

PI = 0.522 zafra

lo que significa que a la mitad de la zafra se recupera la inversión.

Por último tenemos la recuperación de capital, que se evalúa de la siguiente manera:

$$RC = \frac{A - DL}{CI} \times 100$$

donde: RC = recuperación de capital

A = ahorro neto semestral

DL = depreciación lineal

CI = costo inicial de la inversión

a su vez : $DL = \frac{CI}{DEP}$

donde: DEP = duración estimada del proyecto

para la fibra de vidrio se tiene

DEP = 8 años

por lo que: DL = 1' 565,960.5 \$/año

como una zafra dura en promedio 6 meses, se tiene

DL = 782,980.25 \$/zafra

con lo que finalmente

$$RC = 185.09\%$$

concluyendo que resultaría atractiva la inversión, por concepto de la colocación de aislante en tuberías.

V.2.3.- Calor de desperdicio.

a) Energía obtenida en los gases.

Como se vió en el capítulo anterior, la energía que poseen los gases a la salida de las chimeneas es considerable, aproximadamente del 12% con respecto a la totalidad de energía que se suministra a las calderas, por lo cual, generalmente se implementan equipos para aprovechar dicha energía como son; calentadores de aire, economizadores, secadores, sobrecalentadores de vapor, etc.

Para saber la cantidad de energía que teóricamente podemos aprovechar de los gases, hay que conocer la cantidad de gases que se generan y sus respectivas temperaturas. Existen formulas teóricas, que nos pueden dar el valor del aire necesario para la combustión del combustible, basando los cálculos en el análisis de los productos de combustión (CO_2 , CO , O_2 , H_2O , N_2). Pero en nuestro caso, esto no se puede llevar a cabo, debido a que estamos quemando dos combustibles diferentes (combustóleo y bagazo) y no sabemos la proporción que corresponde a cada uno en el análisis de los gases.

Por lo que en este caso, lo más recomendable para determinar los flujos de aire, es medir la presión dinámica que generan los ventiladores, que inyectan el aire así como el área de los ductos.

TABLA 5.2
Tiro de Ventiladores

CALDERA	T (°C) entrada aire	hv (cm H2O)	A (m2)
1	120	4.5	0.51
2	120	0.7874	0.8
3	120	2 y 4	0.15 y 0.12
4	120	0.6858	0.74

NOTA: Los ventiladores 2 y 4 alimentan la caldera 3

Fuente: Aprovechamiento energético del bagazo en la Ind. Azucarera.

Mediciones realizadas en colaboración con el M.I. Alfredo Hernández, con tubo Pitot.

Con ayuda de las siguientes ecuaciones, podemos conocer el gasto de aire - que se inyecta a los hogares de las calderas.

$$V = \sqrt{\frac{2g \text{ Dhv}}{100\rho}} \times 60 \quad \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Donde: $g=9.81 \text{ m/S}^2$

d =densidad del flujo manométrico, kg/m^3

h_v =presión dinámica, cm H2O

ρ =densidad del aire, kg/m^3

Para Casasano, Morelos:

$P_{atm} = 0.874 \text{ bar}$

$T = 35^\circ\text{C}$

$R = 287 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

$\rho = 0.99 \text{ kg/m}^3$

$D = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (agua)}$

$$Q = AV \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\dot{m}_a = \rho Q = 1/60 \text{ kg/seg (flujo de aire)}$$

$$* \dot{m}_g = 1.15 \dot{m}_a \text{ kg/seg (flujo de gases)}$$

* 15%-el flujo de gases se considera un 15% adicional al flujo de aire, debido a que el hogar tiene un tiro negativo, cualquier hendidura (mirillas, compuertas, alimentadores de bagazo), permitirán la entrada del aire.

Realizando los cálculos correspondientes obtenemos la siguiente tabla:

TABLA 5.3
Flujo de aire y gases

Caldera	Flujo aire kg/seg	Flujo gases kg/seg	Temp. gases °C
1	15.08	17.342	250
2	9.89	11.37	160
3	4.15	4.77	370
4	8.63	9.92	230

De la tabla anterior se observa, aún cuando teóricamente se consume la misma cantidad de combustible en cada una de las calderas, los tiros de los ventiladores se encuentran desbalanceados; lo cual provoca ineficiencias en la combustión. Un ejemplo es; la deficiencia de aire en la caldera 3, la cual provoca altas temperaturas en los gases de escape.

La energía de que teóricamente se puede disponer de los gases de combustión es:

C_{pg} = calor específico de los gases

$$C_{pg} = 0.282 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{C} \stackrel{(9)}{=} 1.18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

con lo que:

$$E1 = 17.342 \times 1.18 \times 250 = 5115.9 \text{ KW}$$

$$E2 = 11.37 \times 1.18 \times 160 = 2164.7 \text{ KW}$$

$$E3 = 4.77 \times 1.18 \times 370 = 2082.6 \text{ KW}$$

$$E4 = 9.92 \times 1.18 \times 230 = 2692.3 \text{ KW}$$

$$ET = 12037.5 \text{ KW}$$

para hacer uso de los gases, supóngase que unimos todos los flujos, con lo cual la temperatura de equilibrio es:

$$ET = \dot{m}gT \times C_{pg} \times T_g$$

$$T_g = \frac{12037.5}{43.402 \times 1.18} = 235^\circ\text{C}$$

Suponiendo una caída de 11°C en la temperatura de los gases, las condiciones finales de éstos serán:

$$\dot{m}g = 43.402 \text{ kg/seg}$$

$$T_g = 224^\circ\text{C}$$

$$C_{pg} = 1.18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Aprovechando estos gases hasta 120°C , para evitar problemas de corrosión debido a la condensación de los mismo, la energía disponible será:

$$E \text{ disponible} = 43.402 (224-120) \times 1.18$$

$$E \text{ disponible} = E_o = 5326.3 \text{ KW}$$

Utilizando esta energía para el secado del bagazo que se alimenta a las calderas, tendremos lo siguiente.

b) Secado del Bagazo.

En general, el secado significa la remoción de cantidades de agua relati-

vamente pequeñas, de un cierto material, sin llegar al punto de ebullición del agua. En el secado el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con aire ⁽¹⁰⁾.

El proceso de secado seleccionado, es en el cual, el calor se añade por contacto directo con aire caliente a presión atmosférica y, el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire (gases de combustión)

Para tener totalmente definidas las características del aire (gases de combustión) que se utilizará en el secado, hay que calcular o determinar la humedad del mismo, la cual se puede obtener a través del siguiente procedimiento ⁽¹¹⁾

Inicialmente se realizó un análisis de los gases producto de la combustión para lo cual se utilizó el Aparato de Orsat, facilitado por el Lab. de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería, obteniendo lo siguiente:

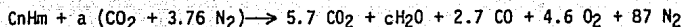
TABLA 5.4

Composición de la mezcla seca a partir del análisis de Orsat

CO ₂	0.057
O ₂	0.046
CO	0.027
Subtotal	0.130
N ₂	0.87
Total:	1.00

Fuente: mediciones realizadas en las calderas del Ingenio Casasano, 1987

la reacción química tendrá:



por la conservación de N_2 átomos:

$$a = \frac{87}{3.76} = 23.14$$

balance oxígenos:

$$2a = 11.4 + c + 2.7 + 9.2$$

$$c = 22.98$$

balance carbonos:

$$n = 5.7 + 2.7 = 8.4$$

balance hidrogenos:

$$m = Z_C = 45.96$$

combustible (teórico) = $C_{8.4} H_{45.96}$

fracción de agua

$$\lambda_{H_2O} = \frac{22.98}{4.6 + 5.7 + 2.7 + 87 + 22.98} = 0.186$$

presión parcial

$$P = 0.186 \times 0.874^{(12)} = 0.162$$

$$H = \frac{18}{29} \frac{0.162}{0.874 - 0.162} = 0.14$$

con lo cual la humedad de los gases es:

$$H = 0.14 \text{ Kg vapor agua/ Kg aire seco}$$

con esto podemos establecer las condiciones de secado a partir de los siguientes datos y ecuaciones⁽¹³⁾.

$$L_s = 13979, \text{ Kg solido seco/hr}$$

$$C_{ps} = 3 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}^{(14)}$$

$$X_1 = (45\%); 0.82 \text{ Kg humedad/Kg seco}$$

$$C_{pA} = 4.187 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{s1} = 25^\circ\text{C}$$

$$T_{s2} = 50^\circ\text{C}$$

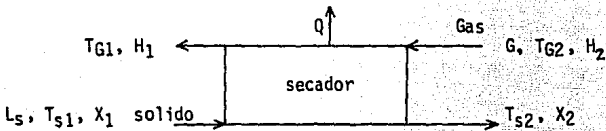
$$X_2 = (25\%); 0.330 \text{ Kg humedad/Kg seco}$$

$$T_{G2} = 224^\circ\text{C}$$

$$H_2 = 0.14 \text{ Kg vapor agua/Kg aire seco}$$

$$T_{G1} = 120^\circ\text{C}$$

las ecuaciones se establecen a partir del siguiente diagrama



Balance Materiales

$$GH_2 + L_s X_1 = GH_1 + L_s X_2$$

Balances de Energía

$$H'_{G2} = C_s (T_{G2} - T_0) + H_2 \lambda_0$$

$$H'_{G1} = C_s (T_{G1} - T_0) + H_1 \lambda_0$$

$$H'_{s1} = C_{ps} (T_{s1} - T_0) + X_1 C_{pA} (T_{s1} - T_0)$$

$$H'_{s2} = C_{ps} (T_{s2} - T_0) + X_2 C_{pA} (T_{s2} - T_0)$$

Balance de calor con respecto al secador

$$GH'G_2 + L_s H'_{s1} = GH'G_1 + L_s H'_{s2} + \cancel{A}^0$$

haciendo los cálculos correspondientes obtenemos

flujo de aire (gases) necesario = $G = 147,756.1 \text{ Kg/hr}$

que es menor al que nos dan las calderas, de $156,247.2 \text{ Kg/hr}$, humedad de los gases a la salida

$$H_1 = 0.186 \frac{\text{Kg vapor agua}}{\text{Kg aire seco}}$$

si utilizamos los gases para el secado del bagazo, hay que destacar además que, durante el proceso de secado ocurren dos fenómenos simultáneos que se contraponen; por un lado la pérdida de humedad del bagazo aumenta su valor calorífico, pero por otra parte el peso del bagazo disminuye en proporción al secado según el siguiente factor

$$F = \frac{55}{100 - w}$$

por lo que finalmente se tendrá

$$\dot{m}_{\text{bagazo}} = 5.17 \text{ Kg/seg}$$

$$\text{humedad} = 25\%$$

$$\text{VCN} = 12867.7 \text{ KJ/Kg}$$

con lo cual la energía que se obtiene al quemar el bagazo en las nuevas condiciones es:

$$E_{\text{dbagazo}} = 66526.0 \text{ KW}$$

La energía que se consume actualmente por el quemado del bagazo (45% de humedad) es 61866 KW, con lo cual se tendría un ahorro de energía de

$$\text{Ahorro energía} = 4660 \text{ KW}$$

c) Análisis Económico.

Si el ahorro de energía lo utilizamos para consumir una cantidad menor de combustible, la cantidad del mismo que se ahorrará por zafra será

$$\rho_{\text{combustible}} = 39800 \text{ KJ/Kg}$$

$$\rho_{\text{combustible}} = 800 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Ahorro combustible} = 526.8 \text{ lt/hr}$$

considerando una zafra promedio de 180 días

$$\text{Ahorro combustible} = 2275,776 \text{ lt/zafra}$$

con un valor aproximado de 62 \$/lt⁽¹⁶⁾ combustible, el dinero ahorrado es

$$\text{Dinero ahorrado} = 141.09 \times 10^6 \text{ \$/zafra (86-87)}$$

para la zafra 86-87, ahorrarían aproximadamente 141 millones de pesos, por motivo de secar el bagazo que se quema en las calderas.

d) Secadores.

El estimar el costo de un secador de bagazo a nivel industrial es complicado y laborioso. Ya que se requiere evaluar una gran cantidad de variables tanto del mismo secador como de los equipos auxiliares. Además de lo anterior se tiene que, existen pocos a nivel comercial para -

los requerimientos que demanda un ingenio .

Por tal motivo, para instalar un secador de bagazo en un ingenio, podemos decir que practicamente se debe partir de su diseño.

A continuación se mencionan algunos secadores, que podrfan ser adaptados a un ingenio.

Tipos de Secadores.

- Secadores de Charolas Giratorias.

Un tipo de secador que emplea directamente el calor recuperado de los gases de escape. El secador giratorio de charolas fabricadas por la Compañía Buell, incorpora una serie de charolas anulares superpuestas, que van montadas a un armazón giratorio de acero. Estas charolas estan segmentadas, esparcidas unas con otras, de tal forma que dejen una ranura entre las charolas adyacentes. Un ventilador de turbina montado sobre un eje central y vertical, asegura un flujo uniforme de aire de secado sobre el material en las charolas. El material humedo se coloca en la charola superior por medio de un alimentador especial y se transporta en forma de una capa delgada a las charolas giratorias.

- Secadores con Chorros Giratorios de Aire.

En la mayoría de los secadores, generalmente se introduce el aire en un punto y se extrae en otro, se pone en contacto con el material a secar solamente después de atravesar parte del equipo. En el secador de chorros

giratorios, fabricados por la Compañía Cannon Air Engineering y que principalmente se utiliza para secar ladrillos y otros materiales similares, la masa de aire caliente se recircula, debido a la naturaleza del producto a secar este proceso es intermitente.

- Secadores de Lecho Fluidizado.

Existen muchas compañías que requieren secadores para procesar algunos de sus productos que no tienen una producción continua. En estos casos el industrial demanda un secador que de manera eficiente pueda procesar lotes de producto, el secador que llena estos requisitos es el secador fluidizado. Se puede acelerar el proceso de secado, si el material a secar presenta un área muy grande comparada con su masa. El objetivo de este tipo de secadores es la suspensión de las partículas húmedas en una corriente ascendente del aire caliente, expandiendo así la mayor cantidad posible del área de cada partícula a un proceso de convección forzada para obtener el mejor resultado posible.

- Secador Neumático.

Este secador se ha desarrollado íntegramente en Cuba, la fig. 5.1, muestra dicho secador.

Este secador consiste de dos etapas, una primera de caída libre clasificación (1), de 0.46 m de diámetro y largo 6 m, y una segunda de transporte neumático (2), de 0.25 m de diámetro y 10 m de largo.

El método de trabajo de la instalación es el siguiente:

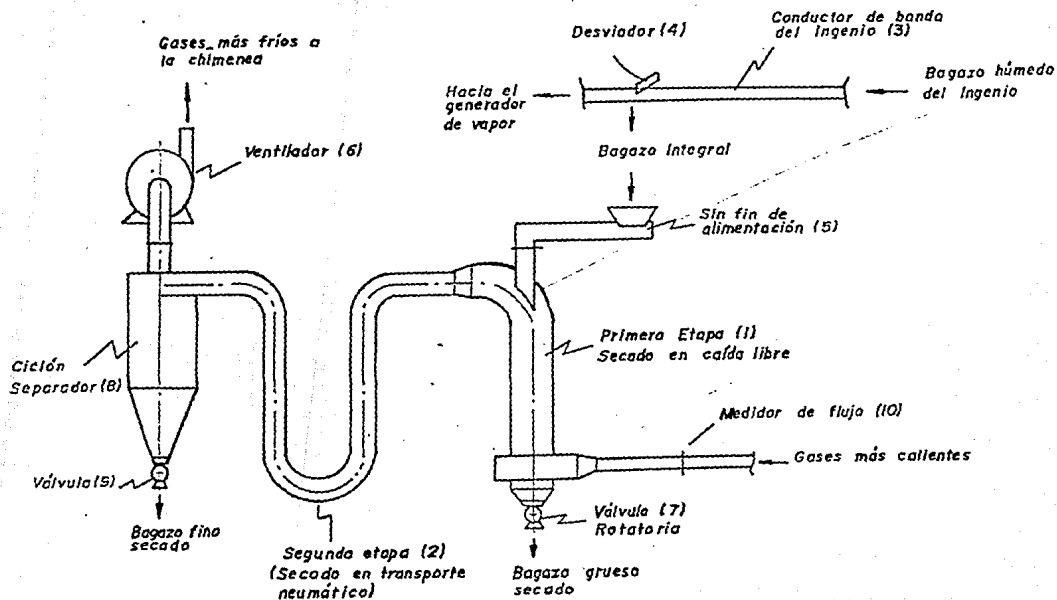


Fig. 5.I.- Secador piloto neumático ICINA2, Cuba.

El bagazo integral humedo se toma directamente del conductor de banda (3) que lo transporta desde los molinos hasta el generador de vapor, mediante un desviador de paleta (4) vía sinfín de alimentación (5) al secador.

El gas, por otra parte, arriba al equipo en virtud de la succión del ventilador centrifugo (6) por la etapa de caída libre.

El funcionamiento interno consiste en el encuentro entre el flujo de gas que sube con determinada velocidad, y el bagazo que desciende, de manera que la parte más pesada del material baja a través de la etapa de caída libre (1), y sale por la válvula rotatoria (7). La parte más ligera del material se arrastra a co-corriente con el bagazo a través de la etapa de secado en transporte neumático (2) hasta el ciclón (8) en donde al producirse la separación mecánica el gas sale por la tubería superior, y el bagazo mediante la válvula rotatoria (9).

El señor Abilio Arrascaeta Recano, a nombre del Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras dijo: "El secado de bagazo del orden de 10% con la perspectiva a nivel nacional (Cuba) de alcanzar un ahorro de 500-700 mil toneladas de petróleo combustible".

Arrascaeta Recano, señaló que el secador neumático ICINAZ instalado en el ingenio experimental "Pablo Noriega", es más ventajoso que un secador rotatorio extranjero, fundamentalmente en lo que se refiere al pago de la inversión y sencillez con los resultados obtenidos⁽¹⁷⁾.

Los pocos datos reportados muestran que en el caso de un secador rotatorio que se adiciona a una caldera actual (con precalentador de aire) se paga

la inversión alrededor de 2.5 años. Existe información que en el caso de un secador neumático se paga la inversión en menos de un año.

De los resultados obtenidos en este capítulo podemos concluir lo siguiente:

Existe un gran campo de acción tendiente a elevar la eficiencia del ingenio, desde el punto de vista energético y de producción. Todo es cuestión que la gente directa e indirectamente relacionada con el ingenio se lo proponga para, implantar una serie de programas tendientes a mejorar las condiciones de trabajo de esta planta, la principal agroindustria en México.

Referencias.

- (1) Donalds Kern, Procesos de Transferencia de Calor. pag. 907
- (2) Necati Ozisik, Transferencia de Calor. pag. 478
- (3) IBID.
- (4) IBID.
- (5) R. Vivas A., R. Cerdona N. Determinación del Espesor Optimo de Aislantes Térmicos para Equipo y Tuberia. I.M.P.
- (6) Ozisik. pag. 476
- (7) Termo Asbestos, S.A. Insurgentes Centro # 21
- (8) Forros Aislantes, S.A.
- (9) Hugot. Man. para Ing. Azucareros. pag. 656, 1982
- (10) Geankoplis. Procesos de Transporte y Op. Unitarias. pag. 435 y 436
- (11) Reynolds. Ingenierfa Termodinámica. pag. 440-443, 1983
- (12) Manual de Calderas Selmec.
- (13) Geankoplis. P. de Transportes y Op. Unitarias. pag. 478-480
- (14) Geankoplis. P. de Transportes y Op. Unitarias. pag. 726
- (15) Hugot. Man. para Ing. Azucareros. pag. 623, 1982
- (16) I.M.P. 1987
- (17) Primera Conferencia Internacional sobre Alta Eficiencia en la Industria. Abril de 1986

CAPITULO 6

VI.- Auditoria Energética

VI.1.- Introducción

Es importante resaltar que la realización de una auditoria energética debe de realizarse siguiendo un plan determinado y una metodología establecida. En el presente trabajo se ha tratado de desarrollar una, en base al material revisado y ver sus resultados al aplicarla a un ingenio azucarero con lo cual hemos hecho una serie de correcciones. Sin embargo como se trata de un trabajo inicial del cual se tiene poca experiencia la metodología aquí planteada consideramos es corregible, pero puede ser de utilidad como una primera aproximación a la realización de un trabajo de este tipo.

Objetivo.

Consideramos que la principal finalidad de una auditoria energética es localizar todas las fuentes de energía así como las diferentes formas en que se consumen en una planta, pudiendo llegar al del consumo en equipos dependiendo del nivel de agregación que se de en el análisis.

En nuestra opinión la metodología aquí expuesta podría servir de base para realizar diagnósticos en otros ingenios y probablemente para aplicarse en otro tipo de industria.

A continuación presentamos la metodología propuesta indicando los objetivos particulares de cada uno de los pasos sugeridos, mostrando un diagrama de bloques que presenta la secuencia de la metodología.

Metodología Básica

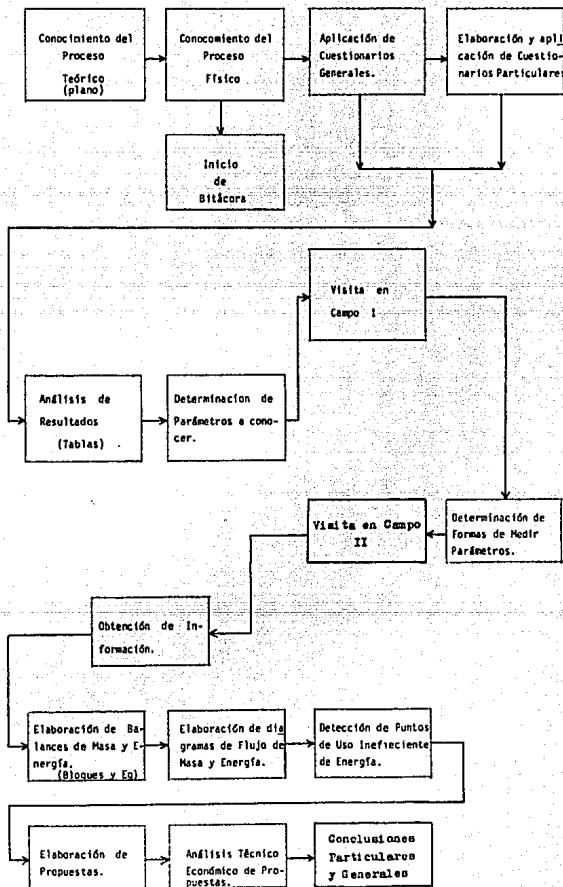


Diagrama 6.1

VI.2.- Descripción de la Metodología.

VI.2.1.- Conocimiento del Proceso.

Objetivo.- Conocer el proceso en forma teórica y real a partir de bibliografía básica y una visita de reconocimiento.

En esta etapa se supone que ya se tiene elegida la industria que se piensa auditar, por lo que es necesario conocer el proceso.

Para conocer el proceso se tendrá que analizar sus operaciones unitarias, equipos principales y materias primas utilizables; esto se realiza en primer lugar con la bibliografía básica elegida y después con la visita de reconocimiento, se tendrá que comparar el proceso teórico con el real, con la ayuda de los planos de proceso de la industria.

Se puede aprovechar en esta visita de reconocimiento del proceso real el aplicar los cuestionarios que se mencionan en el inciso siguiente, también servirán para ir elaborando la bitácora correspondiente, con datos técnicos y de proceso que posteriormente nos sirvan para la auditoria.

VI.2.2.- Aplicación de Cuestionarios.

Objetivo.- Aplicar cuestionarios básicos para conocer; la operación de la planta, los diferentes puntos de desperdicio de energía de acuerdo con la experiencia del personal de la planta y si existen datos estadísticos de consumo de una manera organizada.

Para poder lograr nuestro objetivo creímos conveniente definir cuestionarios particulares.

En los cuestionarios generales buscamos realizar preguntas de índole global con el afán de que se puedan aplicar en otra industria y no solo en ingenios azucareros como el que presentamos a continuación:

Cuestionario General.

- 1.- ¿Cuántos tipos de productos y subproductos se producen y que cantidades de cada uno de ellos?
- 2.- ¿Cuales son los tipos de materias primas que se utilizan y las características que tienen?
- 3.- ¿Cuál es la capacidad de planta instalada y la capacidad real promedio?
- 4.- ¿Cuál es el factor de planta?
- 5.- ¿Que tipos de equipos se tienen y cuales funcionan en forma intermitente y durante cuanto tiempo funcionan?
- 6.- ¿Que tipos de combustibles y en que cantidades se utilizan por unidad de producto?
- 7.- ¿Que tipos de desechos genera la planta y en que cantidades?
- 8.- ¿Cuando la planta esta sin operar que tipos de mantenimiento se realiza en ella, y es el adecuado o se programa otro tipo de mantenimiento auxiliar?
- 9.- ¿Con que tipos de instrumentos cuenta la planta para detectar pérdidas y fugas?

- 10.- ¿Consideran que existan desperdicios de energía y si es así en que puntos los han detectado?
- 11.- ¿Se ha pensado en desarrollar algún plan para mejorar el uso de la energía?
- 12.- ¿Se posee información estadística o histórica de los consumos de la energía de la planta y por equipo o partes del proceso?
- 13.- ¿Se conoce la eficiencia energética de la planta. Teórica y real?
- 14.- ¿Cuales son los costos de energía en el proceso?
- 15.- ¿Se conoce el contenido energético del producto final?

Los cuestionarios particulares que elaboramos los dividimos en tres grupos:

- Preguntas básicas del proceso.
- Preguntas térmicas del proceso.
- Preguntas eléctricas del proceso y/o de la planta.

Varias de estas preguntas son dirigidas a la industria azucarera pero se podrían aprovechar algunas de ellas para elaborar cuestionarios particulares a otro tipo de industria como los que mostramos a continuación:

Preguntas Básicas del Proceso.

- 1.- ¿Se tiene balance térmico del proceso productivo?
- 2.- ¿Cuál es el consumo de agua por unidad de producto?

- 3.- Para las desmenuzadoras, cuchillas, desfibradoras y molinos ¿que tipo de máquinas se usan para moverlas y cuál es el consumo de energía que se tiene?
- 4.- ¿Cuántos molinos se tienen, de que tipo son y de que depende que se tengan tres o más molinos?
- 5.- ¿Con que cantidad de agua sale el guarapo de los molinos?
- 6.- En los tanques defecadores ¿Cuál es la cantidad de cal que se añade al guarapo y de que depende?
- 7.- ¿Cuales son las cantidades de agua que se extrae al guarapo en su paso por los pre-evaporadores, evaporadores de múltiple efecto y tachos?
- 8.- ¿Cuales son las capacidades de los tachos, evaporadores, cristalizadores, clarificadores y turbinas de vapor?
- 9.- ¿Cuales son los subproductos que se tiene y en que cantidad?
- 10.- ¿Cantidad de sacarosa en los subproductos?

Preguntas Térmicas del Proceso.

- 1.- ¿Que tipo de caldera se usa?
- 2.- ¿Cuál es la capacidad nominal, real y eficiencia de la caldera?
- 3.- ¿Cuál es la eficiencia de la combustión dentro de la caldera?
- 4.- ¿Que tipo de aislante se tiene en la caldera y tuberías conductoras de vapor y cuál es su eficiencia?

- 5.- ¿Existe precalentamiento de aire de suministro a la caldera?
- 6.- ¿Son utilizados los gases que se generan de la combustión o son tirados a la atmósfera tal y como salen de la caldera?
- 7.- ¿Cuál es la pérdida de energía en las líneas (teórica y real)?
- 8.- ¿Cuanto vapor se requiere por tonelada de caña?
- 9.- ¿Cuanto vapor es requerido en cada uno de los equipos principales? (tachos, evaporadores, pre-evaporadores y plantas generadoras) .
- 10.- ¿Condiciones del vapor en c/u de las partes del proceso? (tachos, evaporadores, pre-evaporadores, etc.)
- 11.- ¿Existen fugas de vapor o de agua caliente?
- 12.- ¿Cuál es el tipo de tratamiento que se le da al agua de la caldera y que capacidad de ésta se requiere?
- 13.- Durante el proceso ¿Se tiene trabajando todo el tiempo la planta de tratamiento de agua, si es así , cuál es el consumo de energía que se tiene?
- 14.- ¿Cuál es el ciclo que sigue el agua durante el proceso?
- 15.- ¿Hay recirculación de agua utilizada en el proceso?
- 16.- ¿Se cuenta con equipos y/o instrumentos de medición para obtener lecturas de temperatura, presión, gasto, etc. en cada una de las partes del proceso, si no en donde tienen medidores?
- 17.- ¿Cuales son las caídas de presión en todo el sistema de tuberías?

18.- Para la generación de vapor que se usa en la planta ¿Se puede usar bagazo como combustible, porque?

19.- ¿Cuál es el poder calorífico del bagazo (promedio) ?

Preguntas Eléctricas del Proceso y/o de la planta.

1.- ¿Cuál es la capacidad y tensiones de la subestación?

2.- ¿Cuál es la carga conectada?

3.- Calibre y tipo de conductores de alimentación.

4.- ¿Cuál es el consumo total de energía eléctrica en el proceso?

5.- ¿En que porcentaje se cogenera la energía del proceso?

6.- ¿Si se genera, características de la generación?

7.- ¿Existen picos de demanda eléctrica?

8.- Condiciones de la red eléctrica y equipo en general.

9.- Temperatura de los puntos calientes de la red eléctrica y equipos.

10.- ¿Se cuenta con protección eléctrica de la red y equipos, incluyendo calibración y coordinación?

11.- Existe control del factor de potencia en equipos eléctricos.

12.- Número de motores con potencia superior a 10 H.P.

13.- Número de motores con potencia inferior a 10 H.P.

- 14.- ¿Se tienen medidos los voltajes y corrientes de operación de los diversos motores?
- 15.- Factor de potencia de los motores, usados.
- 16.- Es necesaria la iluminación por medio de lámparas durante el día ¿que tipo de lámparas se usan?
- 17.- Potencia y número de lámparas por unidad de área.
- 18.- Existe equipo eléctrico que cuenta con ventiladores externos a ellos ¿cuantos?
- 19.- ¿Cuales son las pérdidas eléctricas que existen y cuál es su origen?

VI.2.3.- Análisis de Resultados.

Objetivo.- Realizar un análisis de datos estadísticos de corridas o tablas elaboradas por la propia industria, o bien por uno mismo.

En la visita de reconocimiento se pueden conseguir estadísticas mensuales o anuales en donde contengan datos tales como: cantidades de combustibles utilizados, materias primas, productos, subproductos, tiempos perdidos, - etc.

Estos datos sirven para ver la tendencia de comportamiento de la planta, así como para ir identificando áreas de interés o mejor dicho de mayor consumo de energía.

Se recomienda elaborar tablas en donde se tenga el uso mensual de energía en la planta, es decir un registro de fuentes de suministro energético, -

TABLA 6.1

USO MENSUAL DE ENERGIA EN LA PLANTA

	ENERGIA ELECTRICA			GAS NATURAL			ACEITE COMBUSTIBLE			CARBON			Total de kcal	No. de unidades producidas	kcal por unidad de producción
	kwh	kcal/kwh	kcal	10 ³ m ³	kcal/10 ³ m ³	kcal	litros	kcal/l	kcal	ton.	kcal/kg	kcal			
Ene															
Feb															
Mar															
Abr															
May															
Jun															
Jul															
Agt															
Sep															
Oct															
Nov															
Dic															
Ene															
Feb															
Mar															
Abr															
may															
Jun															
Jul															
Agt															
Sep															
Oct															
Nov															
Dic															

DEPARTAMENTO
USO DE ENERGIA MENSUAL POR DEPARTAMENTO

Tabla 6.2

	ENERGIA ELECTRICA		GAS NATURAL		ACEITE COMBUSTIBLE		CARBON		AIRE COMPRIMIDO		VAPOR, en kg/cm ² (max.)		CONDENSADO USADO O PERDIDO		AGUA		TOTALING-DE UNO DE DADES PRO-		MATERIA PRIMA "A"		MATERIA PRIMA "B"		MATERIA PRIMA "C"		TOTAL DE UNO DE MATERIAS PRIMAS				
	kwh	kcal	kwh	kcal	litros	kcal/lit	ton	kcal/ton	10 ³ m ³	kcal/10 ³ m ³	ton	kcal/ton	ton	kcal/ton	ton	kcal/ton	kcal	DUPLICADAS	ton	kcal/ton	kcal	ton	kcal/ton	kcal	ton	kcal/ton	kcal	ton	
Ene																													
Feb																													
Mar																													
Abr																													
May																													
Jun																													
Jul																													
Ago																													
Sep																													
Oct																													
Nov																													
Dic																													
Ene																													
Feb																													
Mar																													
Abr																													
May																													
Jun																													
Jul																													
Ago																													
Sep																													
Oct																													
Nov																													
Dic																													

MINISTERIO DE ECONOMIA

INGENIO _____

REG. FED. CAUSANTES: _____

Núm. Ref.	DATOS DE MOLIENDA PRODUCCION Y CONSUMO	(A)	(B)	Datos Analíticos
		Corrida	A la fecha	
1	Número de días de Zafra.			1 Caña Corrida
2	Número de Horas y minutos de zafra.			2 " A la fecha
3	Número de Horas y minutos de molienda.			3 Bagozo
4	Número de Horas y minutos Perdidos.			4
5	Tiempo perdido % tiempo total.			5 Cachazo
6	Toneladas de caña molida bruta			6
7	Toneladas de caña molida por días de zafra			7 Jugo desmenzadoro
8	Toneladas de caña molida por hora.			8
9	Toneladas de caña molida por hora x 24			9 Jugo absoluto
10	Velocidad Tangencial media de molinos m/min.			10
11	Carga Hidráulica métrica ton./m.			11 Jugo mezclado
12	Imbibición % de caña			12
13	Imbibición % fibra en caña			13 Jugo residual
14	Dilución % de caña.			14
15	Toneladas de jugo mezclado.			15 Jugo clarificado
16	Extracción jugo mezclado % caña			16
17	Extracción jugo absoluto % caña.			17 Meladura
18	Extracción Pol. % Pol. en caña.			18
19	Coficiente de extracción.			19 Masa cocida "A"
20	Extracción reducida a 12.5 % fibra en caña.			20
21	Jugo absoluto en bagozo % de fibra.			21 Miel "A"
22	Jugo sin diluir en bagozo % de fibra			22
23	Bagozo por ciento en caña			23 Masa cocida "B"
24	Toneladas de azúcar producido ()			24
25	Toneladas de azúcar producido ()			25 Miel "B"
26	Toneladas de azúcar producido ()			26
27	Toneladas miel final producidas.			27 Masa cocida "C"
28	Toneladas miel final 85° Brix producidas.			28
29	Toneladas miel final 85° Brix aportadas.			29 Miel final
30	Toneladas miel final 85° Brix en existencia.			30
31	Azúcar producido y estimado % caña bruta			31 Azúcar "C" semilla
32	Kilogramos miel final 85° Brix P y E. / ton. caña			32
33	Winter y Corp			33 Azúcar fundido
34	Pol. retenida % Pol. jugo mezclado.			34
35	Eficiencia de fabrica			35 Azúcar fund Clarif

que relaciona las adquiridas del exterior y aquellas auto-producidas que son consumidas por la propia industria (como lo que sucede en los Ingenios azucareros con su autogeneración de energía eléctrica).

En la tabla 6.1, se pueden registrar las cifras en unidades compatibles y con los procedimientos usuales de energía.

También se pueden utilizar tablas de uso mensual de energía y de materias primas por departamentos como las que mostramos en la tabla 6.2, en las que obtenemos la cantidad de energía consumida por unidad de producto.

En nuestro trabajo nos basamos para algunos datos, en los informes oficiales de las corridas del ingenio como el que se presenta en la página anterior.

VI. 2.4 - Determinación de Parámetros a Conocer.

Objetivo: Determinar los parámetros a conocer en el proceso y en cada uno de los equipos con el propósito de realizar los balances de masa y energía por bloques y por equipos.

En este tipo de industria como lo es la azucarera, el uso del vapor es predominante con lo que los parámetros principales a conocer son:

Presión de vapor
Temperatura de vapor
Flujo de vapor

en sus diferentes líneas y equipos principales.

También fue importante para nosotros conocer características de las ma-

TABLA 6.3
Parámetros a conocer

Equipo	Presión Entrada (del vapor)	Presión Salida (del vapor)	Temp. a la entrada (del vapor)	Calidad del vapor a la entrada	Flujo del vapor
Turbogeneradores 1.2					
Turbogeneradores 3					
Turbinas de Molinos					
Turbinas de Centrifugas					
Turbinas de Ventiladores					
Bombas de Agua a Cald.					
Calentadores de Petróleo					
Eyectores					
Destilería					
Secador					
Evaporadores					
Tachos 1-5					
Tachos 67					
Clarificador Refinado					
Calentadores de jugo					

TABLA 6.3

PARAMETROS AUXILIARES

Equipo	Parámetros
Secador	\dot{m} Azúcar =
Evaporadores	Brix entrada = Brix salida = Jugo a la entrada = Pentr = Jugo a la salida = Tentr =
Calentadores de Jugo	Jugo a la entrada = Temperatura del jugo = Presión del jugo =
Caldera	\dot{m} bagazo = \dot{m} combustóleo = \dot{m} gases comb. = \dot{m} aire = \dot{m} agua = \dot{m} vapor = Temp. sal = Presión sal =
Motores de cuchillas	Voltaje = Corriente = Factor de potencia =

terias primas como son:

Flujos de guarapo

Concentraciones, temp. y presiones del guarapo

Cantidades de azúcar producida

Cantidades de subproductos obtenidos

Flujos de: aires para calderas, combustóleo, bagazo quemado y gases de combustión principalmente.

Presentamos la tabla 6.3, en la cual consideramos los equipos con los que elaboramos el diagrama de masa y energía, y en la que tenemos definidos - los parámetros a conocer.

En la tabla 6.3 presentamos los parámetros auxiliares para poder relacionar los balances particulares de cada equipo con el balance general de toda la planta.

VI.2.5- Visita de Campo I.

Objetivo.- Se pretende detectar todas las posibles fugas que se tengan en el proceso a nivel de equipos, así como los problemas que podrían incidir en el excesivo consumo de energía.

Sugerimos como posibles puntos a observar.

- Fugas de aceite combustible y/o gas.
- Fugas de vapor.

- Fugas de aire comprimido.
- Fugas de condensados.
- Fugas de agua.
- Daños o faltantes de aislamiento, excesivo calentamiento o enfriamiento.
- Fugas de (o exceso) calentamiento y ventilación en los sistemas de aire acondicionado.
- Quemadores fuera de ajuste.
- Fallas en trampas de vapor.
- Superficies de calefacción sucias o incrustadas.
- Puntos calientes en hornos que indican deterioro de refractarios.
- Problemas en baleros, reductores de velocidad y motores eléctricos.
- Motores eléctricos sucios.
- Bandas desgastadas.
- Viscosidad inadecuada de lubricante.
- Lámparas sucias.
- Exceso o acumulación de aditivos en combustibles.
- Condiciones inadecuadas de operación.

En esta parte y con la visita anterior se pueden tener las dimensiones físicas de todo el proceso por lo cual es importante llenar la bitácora para realizar los apuntes que se consideren necesarios.

En nuestra opinión nosotros sugerimos la tabla 6.4 para ser llenada conforme se van detectando durante el recorrido de esta visita.

VI. 2.6.- Formas de Medir Parámetros.

Objetivo.- Definir métodos o instrumentos a utilizar para poder medir los parámetros a conocer.

En este punto se pretende elaborar un listado en donde se contenga parámetros a conocer indicando los instrumentos a utilizar existentes o necesarios de instalar así como los métodos para poderlos cuantificar. Lo cual ya se debe tener definido para la segunda visita de campo en donde se tomará toda la información para la realización de nuestros balances de masa y energía (reales).

En este trabajo nosotros indicamos en nuestro balance de masa de energía los puntos en donde queríamos conocer ciertos parámetros y en un capítulo subsecuente indicamos los instrumentos básicos para medir dichos parámetros. Lo cual incidirá en la veracidad de este tipo de trabajos ya que si no se cuenta con datos reales únicamente se podrá presentar como tendencias o aproximaciones del estado actual de la planta.

VI.2.7.- Visita de Campo II.

Objetivo.- Recabar la información necesaria para la realización de los balances de masas y energía así como los diagramas de flujo reales.

En esta etapa se pretende recopilar todos los datos técnicos reales en cada una de las operaciones unitarias y equipos, apoyados en los parámetros que se definieron en el inciso de determinación de parámetros y en el de formas de medir los parámetros.

Figura 6.1

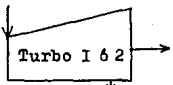
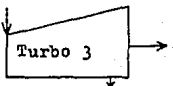



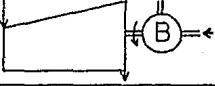
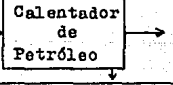
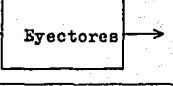
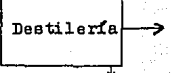
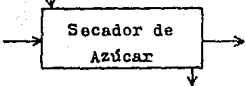
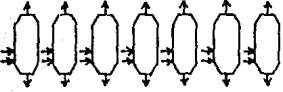
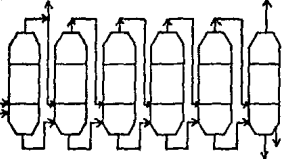
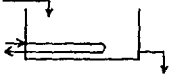
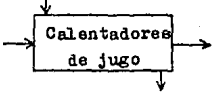

Diagrama del Equipo	Características de entrada y/o salida. (Prop. Termodinámicas).
 <p>Turbo I 6 2</p>	
 <p>Turbo 3</p>	
 <p>T. de Moli.</p>	
 <p>T. de Centrifugas</p>	
 <p>T. de Vent</p>	
 <p>Bombas de agua</p>	
 <p>Calentador de Petróleo</p>	
 <p>Eyectores</p>	
 <p>Destilería</p>	

Figura 6.2

Diagrama del Equipo	Características de entrada y/o salida. (Prop. Termodinámicas).
 <p>Secador de Azúcar</p>	
 <p>Tachos</p>	
 <p>Evaporadores</p>	
 <p>Clarificador de Refinado</p>	
 <p>Calentadores de jugo</p>	
 <p>Caldera</p>	

Para este punto se podrían desarrollar diagramas de bloques de cada equipo u operación unitaria, que para cuando se este realizando la visita se vaya vaciando en estos diagramas, los valores reales como serían los diagramas que presentamos en las figuras 6.1 y 6.2.

VI.2.8.- Elaboración de Balances de Masa y Energía y Diagramas de Flujo.

Objetivo.- Elaborar diagramas de flujo en donde se muestre la distribución de los principales equipos consumidores de energía indicando entradas y salidas de masa y energía en cada equipo.

La realización de estos balances es de gran importancia ya que la información obtenida a partir de los pequeños balances de masa y energía para cada equipo u operación unitaria, es codificada en este balance general.

Para su elaboración se procede a realizar lo siguiente:

- Simbolizar los principales equipos consumidores de energía.
- Dibujar las principales líneas energéticas que conectan a los equipos.
- Indicar los principales parámetros de operación que se requieren en cada punto como son:
 - presión
 - temperatura
 - flujo masico
 - entalpía
 - poder calorífico de combustibles
 - calidad de vapor

- Realizar los balances correspondientes para cada equipo u operación unitaria.

Con ayuda de este balance general, podemos definir plenamente la situación energética de la planta ya que de él se puede obtener información básica como:

- La distribución del consumo de energía en la planta.
- Identificación de pérdidas.
- Rendimientos de operaciones unitarias o equipos.
- Energía entregada al proceso en forma de materias primas y servicios.
- Energía consumida en desechos.
- Energía neta que pueda cargarse al producto final.
- Posibles puntos potenciales de energía.
- Ineficiencias del proceso.

VI.2.9.- Detección de Puntos de uso Ineficiente de Energía.

Objetivo.- Elegir todos aquellos puntos en donde existe un mal uso de la energía.

Esto se puede obtener como resultado del análisis del balance de masa y energía de la planta así como las visitas que se realizaron y los cuestionarios que se aplicaron.

A continuación enlistamos los puntos potenciales de ahorro de energía -- que encontramos en este tipo de industria.

- Tubería con falta de aislante y/o aislante deteriorado.
- Escapes de vapor, por contrapresiones en tuberías y/o equipos.
- Aislante térmico y fluxes de calderas en pésimas condiciones.

- Bagazo húmedo.
- Mal control de la cantidad de caña alimentada a juego de cuchillas (provocando excesiva demanda de energía eléctrica).
- Desperdicios de condensados en evaporadores y tachos.
- Rebombes innecesarios.
- Inadecuado control de consumo de combustible.
- Inadecuado control de consumo de aire en calderas.
- Inadecuado destino de subproductos y/o residuos generados.
- Instalación de instrumentación adecuada para valorar los consumos reales de energía y los controles de la misma.

VI.2.10.- Elaboración de Propuestas y Análisis Técnico Económico.

Objetivo.- Se pretende escoger, de los puntos que se han detectado para el ahorro de energía aquellos que son más viables a un corto plazo y que redituarian ganancias en un menor tiempo. Así - como también elaborar alternativas que tengan como finalidad eliminar los puntos de uso ineficiente de energía.

A continuación enlistamos las propuestas que nosotros creemos que se pueden realizar en este tipo de industria.

- Utilización del calor residual; que se recupere para generar vapor, calentar agua o materia prima etc. (de acuerdo a las necesidades - de la planta).
- Aumento del factor de potencia.
- Reducir las áreas de alumbrado y en donde se requiere, solo utilizarlo en las horas de trabajo.

- Modificación de alguna etapa del proceso en tal forma que reduzca el uso de energía.
- Reemplazar procesos y/o equipos obsoletos e ineficientes.
- Mejorar condiciones de aislamiento térmico.
- Un mayor control de fuentes de energía.
- Elevar la capacitación del personal .
- Concientizar a los operarios acerca de las ventajas que ofrece el ahorro de energía.
- Elaboración de políticas y programas de Mantenimiento Preventivo. (Estas políticas o programas llevan consigo: establecimiento de inventario de equipos y/o refacciones, definición de actividades de mantenimiento preventivo como serían: servicios, inspecciones o cambios; determinación de períodos y frecuencias del mantenimiento preventivo, elaboración de formatos de control del mantenimiento preventivo y por último establecimiento de presupuestos de mano de obra y materiales).

La Etapa de Análisis Técnico Económico consta de los siguientes pasos:

- Diseño del proyecto.
- Cálculos de ahorros anuales de energía para cada proyecto.
- Gastos de instalación.
- Costos de operación.
- Cálculos de los costos futuros de energía.
- Estimación de los costos del proyecto, incluyendo necesidades de capital.
- Evaluar las ventajas de las inversiones usando criterios como tasas de recuperación de la inversión.
- Asignación de prioridades a los proyectos con base a una jerarquía por rendimiento de la inversión.

- Proponer los proyectos para obtener el capital necesario para su implantación.

VI.2.11.- Conclusiones Particulares.

Objetivo.- Presentar los resultados del trabajo con la finalidad de poder lograr la implementación de alguno de los proyectos propuestos.

Todo esto se podrá conseguir en la medida que el trabajo ofrezca datos verídicos (capaces de poder convencer a nuestro sector industrial), y que los proyectos propuestos sean costeables a un corto plazo.

VI.3.- Conclusiones Generales.

Objetivo.- Establecer el grado de desarrollo que posee la metodología, es decir, que tan eficiente resulta al aplicarla en alguna industria dada.

En este último punto se puede ir generalizando determinados puntos de la metodología, y de ser posible irlos colocando como "menús" para aplicarlos a todo tipo de industria.

También se podrá concluir si los modelos matemáticos usados en todos los cálculos nos proporcionan resultados verídicos o hay que profundizar cada vez más en estos para que arrojen mejores resultados.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- 1.- Este es un primer intento práctico de desarrollo de una Metodología de Diagnósticos Energéticos en Plantas, la cual servirá como base para futuros trabajos en industrias, tomando en cuenta las características particulares de cada una de ellas.
- 2.- Se considera que es importante realizar trabajos de este tipo, ya que se pueden detectar posibles ahorros de energía que originen disminución de costos de producción para la planta y puedan coadyuvar a un uso eficiente de los recursos energéticos del país.
- 3.- Para que los resultados de este tipo de estudios puedan ser más eficientes, se tiene que realizar un seguimiento para el control de los parámetros que intervienen dentro del proceso lo cual trae como consecuencia el contar con instrumentación mínima necesaria para el conocimiento de los mismos.
- 4.- Para la implantación de programas de Uso Eficiente de Energía dentro de las empresas consideramos que hay que establecer políticas de concientización y capacitación hacia sus trabajadores por parte de sus direcciones, de acuerdo a la capacidad de cada empresa.
- 5.- Se observó que en donde existe el mayor potencial de ahorro de energía dentro del proceso es en aquellos lugares donde se tienen - -

desperdicios, y el eliminarlos implica un costo económico redituable a muy corto plazo.

- 6.- Se considera que en la industria nacional, la implementación de equipos para el aprovechamiento de calor de desecho o utilización de combustibles alternativos, se pueden tener, en algunos casos, plazos de recuperación de capital de 1 a 2 años lo cual hace atractivas las medidas de mediano plazo para el inversionista.
- 7.- Sería conveniente continuar este tipo de trabajos de apoyo académico, ya que los estudiantes tendrían un medio para efectuar un trabajo útil, y les permitiría adentrarse en la problemática de una industria que les servirá para complementar su formación académica. Los dueños de las industrias obtendrán un análisis energético lo más completo posible de su industria, siendo este análisis el punto de partida para establecer las políticas tendientes a elevar la eficiencia de la planta.

Por lo que es importante tratar de conjugar intereses de las partes que intervienen en el proyecto.

APENDICE

México: balance nacional de energía, 1970

Kcal x 10¹²

	Combustibles sólidos	Petróleo crudo	Productos petrolíferos	Gas	Hidroelec- tricidad	Geotermia	Electricidad	T o t a l	E.E.E. P.*
Producción nacional	10.047	262.683		154,896	48,042			475,668	
Importaciones (+)	3.519		12,527				0.160	16,206	
Exportaciones (-)			-27,879	-10,504				-38,383	
Variación de inventarios		0.805	-1,181					-0,376	
Necesidades totales de energía	13,566	263,488	-16,533	144,392	48,042		0,60	453,115	
Diferencia estadística		20,438	20,438				-0,147	-0,147	0,049
Generación de electrici- dad	-0,384		-21,753	-14,108	-48,042		22,386	-61,901	84,287
Gas de manufactura				2,276				2,276	
Refinerías		-237,404	222,565					-14,839	
Consumo propio del sector energético más pérdidas	-1,687	-5,646	-25,169	-74,062			-3,785	-110,349	-14,251
Uso final	11,495		179,598	58,498			18,614	268,155	70,085
Industria	11,495		30,868	50,472			8,087	100,922	30,449
Transporte			102,334				0,174	102,508	0,655
Otros sectores			32,761	3,350			10,353	46,464	38,981
No energéticos			13,585	4,676				18,261	
Generación de electricidad GWh			11,225		14,805		26,030		
Eficiencia en generación (%)					26,6		26,6		

Disminución de inventarios + / Incremento de inventarios

* Equivalente de electricidad en términos de energía primaria

Fuente: Dirección General de Energía

Noviembre, 1982

México: balance nacional de energía, 1975

Kcal x 10¹²

	Combustibles	Petróleo	Productos petrolíferos	Gas	Hidroelectricidad	Geotermia	Electricidad	T o t a l	E.E.E.P.
Producción nacional	17.140	425.446		187.257	47.239	1.630		678.712	
Importaciones (+)	4.086		31.480				0.327	35.893	
Exportaciones (-)		-58.895	-3.962					-62.857	
Variación de inventarios		-2.308	-5.035	-3.279				-10.622	
Necesidades totales de energía	21.226	364.243	22.483	183.978	47.239	1.630	0.327	641.126	
Diferencia estadística		-32.763	32.763	-0.029			0.770	0.770	-1.621
Generación de electricidad	-0.343		-58.105	-21.302	-47.239	-1.630	35.156	-93.463	128.619
Gas de manufactura				2.052				2.052	
Refinerías		321.706	313.350					-8.356	
Consumo propio del sector energético más pérdidas	-253	-9.774	-32.170	-94.541			-5.001	-147.739	-18.296
Uso final	14.630		278.321	70.158			29.712	392.821	108.702
Industria	14.630		55.185	56.992			13.186	139.186	48.241
Transporte			153.861				0.311	154.172	1.138
Otros sectores			48.602	4.027			16.215	68.844	59.323
No energéticos			20.673	9.139				29.812	
Generación de electricidad									
GWh			25.345		15.016	518	40,879		
Eficiencia en generación (%)					27.3	27.3	27.3		

Disminución de inventarios + / incremento de inventarios -
 * Equivalente de la electricidad en términos de energía primaria

Fuente: Dirección General de Energía

Noviembre, 1982

México: balance nacional de energía, 1979

Kcal x 10¹²

	Combustibles sólidos	Petroleo crudo	Productos petroliferos	Gas	Hidroelec- tricidad	Geotermita	Electricidad	T o t a l	E.E.E.P.*.
Producción nacional	18.062	859.545		271.330	51.472	2.940		1203.339	
Importaciones (+)	6.380		14.220				0.052	20.652	
Exportaciones (-)		-290.461	-5.003					-295.464	
Variación de inventari- os.	-0.416	-7.456	0.997	-1.207				-8.082	
Necesidades totales de energía	24.026	561.628	10.214	270.113	51.472	2.940	0.052	920.445	
Diferencia estadística		-54.857					-0.252		-0.67
Generación de electricidad			-82.014	-30.868	-51.472	-2.940	49.940	-117.354	167.29
Gas de manufactura				3.885				3.885	
Refinerías		-461.885	431.671					-30.214	
Consumo propio del sector energético más pérdidas	-3.071	-44.886	-32.714	-143.798			-7.431	-231.900	-24.89
Uso final	20.955		382.031	99.332			42.309	544.627	141.73
Industria	20.955		68.247	77.281			19.574	186.057	65.57
Transporte			215.369				0.354	215.723	1.18
Otros sectores			66.880	4.161			22.381	93.422	74.97
No energéticos			31.535	17.890				49.425	
Generación de electricidad GWh			39.212		17.839	1.019	58.070		
Eficiencia en generación (%)					29.9	29.9	29.9		

Disminución de inventarios + / Incremento de inventarios -

* Equivalente de la electricidad en términos de energía primaria.

Fuente: Dirección General de Energía

Noviembre, 1982

México: balance nacional de energía, 1980

Kcal x 10¹²

	Combustibles sólidos	Petróleo crudo	Productos petrolíferos	Gas	Hidroelec- tricidad	Geotermia	Electricidad	T o t a l	E.E.E.P. *
Producción nacional	17.652	1163.157			316.559	47.874	2.617	1547.859	
Importaciones (+)	6.935		6.676				0.854	14.465	
Exportaciones (-)		-464.879	-21.908		-26.059		0.088	-512.934	
Variación de inventa- rios.	-0.328	5.354	-3.343		-0.094			-9.119	
Necesidades totales de energía	24.259	692.924	-18.575	290.406	47.874	2.617	0.766	1040.271	
Diferencia estadística		-73.819	73.819	0.098			0.237	-0.139	1.759
Generación de electricidad			-97.842	-28.642	-47.874	-2.617	53.206	-123.769	176.975
Gas de manufactura				4.957				4.957	
Refinerías		-558.628	506.992					-51.636	
Consumo propio de sector energético más pérdidas	-3.640	-60.477	-49.101	-152.145			-8.756	-274.119	-29.124
Uso final	20.619		415.293	114.674			44.979	595.565	149.610
Industria	20.619		64.581	88.490			20.466	194.156	68.074
Transporte			241.559				0.373	241.883	1.241
Otros sectores			74.532	4.938			24.140	103.659	80.295
No energéticos			34.621	21.246				55.867	
Generación de electricidad GWh			44.214		16.739	915	61.868		
Eficiencia en generación (%)					30.0	30.0	30.0		

Disminución de inventarios + / Incremento de inventarios -

* Equivalente de la electricidad en términos de energía primaria.

Fuente: Dirección de Energía

Noviembre, 1982

México: balance nacional de energía, 1981

Kcal x 10¹²

	Combustibles sólidos	Petróleo crudo	Productos petrolíferos	Gas	Hidroelec- tricidad	Geotermia	Electricidad	Total E.E.E.P.*		
Producción nacional	17.551	1391.535			356.090	69.937	2.758	1837.871		
Importaciones (+)	3.519		9.901					13.708		
Exportaciones (-)		-621.948	-44.230		-26.705		0.288	-692.883		
Variación de inventarios	0.984	-15.497	2.585		-0.266			-12.194		
Necesidades totales de energía	22.054	754.090	-31.744		329.119	69.937	2.758	0.288	1146.502	
Diferencia estadística		-83.117	83.117					-0.354	-0.219	
Generación de electricidad			-95.614		-25.887	-69.937	-2.758	58.375	-135.821	194.196
Gas de manufactura					5.049				5.049	
Refinerías	0.275	-608.508	564.236						43.997	
Consumo propio del sector energético más pérdidas	-2.141	-62.465	-55.814		-184.787		-9.253	-9.253	-314.460	-30.782
Uso final	20.188		464.181		123.494		49.056	656.919	163.195	
Industria	20.188		71.783		90.625		22.402	204.998	74.525	
Transporte			269.044				0.392	269.436	1.304	
Otros sectores			79.804		4.669		26.262	110.735	87.366	
No energéticos			43.550		28.200			71.750		
Generación de electricidad										
GWh			42.469		24.446		964	67.879		
Eficiencia en generación (%)			30.1		30.1		30.1	30.1		

Disminución de inventarios + / Incremento de inventarios -
* Equivalente de la electricidad en términos de energía primaria.

Fuente: Dirección General de Energía

Noviembre de 1982

México: Balance Nacional de Energía, 1982

(Kcal x 10¹²

	Combustibles sólidos	Petróleo ^{1/} crudo	Productos petrolíferos	Gas	Hidroelectrici- dad	Geometría	Electricidad	Total	E.E.E P.
Producción nacional	21.629	1 596.099		418.556	63,543	3.623		2 103.450	-
Importaciones (+)	6.034	-	33.410	0.441	-	-	0.008	39.893	-
Exportaciones (-)	-0.214	- 864.096	-25.075	-22.923	-	-	-	- 912.308	-
Valuación de inventarios	-0.401	6.202	- 8.634	- 0.226	-	-	-	- 3.059	-
Necesidades totales de energía	27.048	738.205	- 0.299	395.848	63.543	3.623	0.008	1 227.976	0.026
Diferencia estadística	-	- 107.072	107.072	-1.863	-	-	-	- 1.863	
Generación de electrici- dad	-2.857	-	105.239	-28.518	-63.543	-3.623	62.974	- 140.806	204.
Gas de manufactura	-	-	-	4.548	-	-	-	4.548	-
Refinerías	0.193	- 582.159	545.042	-	-	-	-	- 36.924	-
Consumo propio del sector energético más pérdida	-7.702	- 48.974	-69.578	-208.712	-	-	-10.122	- 345.088	-32.8
Uso final	16.682	-	476.998	161.303	-	-	52.860	707.843	171.6
Industria	16.682	-	68.071	139.170	-	-	23.219	247.142	75.38
Transporte	-	-	270.928	-	-	-	0.392	271.320	1.273
Otros sectores	-	-	85.426	3.579	-	-	29.249	118.254	94.96
No energéticos	-	-	52.573 ^{2/}	18.554 ^{2/}	-	-	-	71.127	-
Generación de electri- cidad (GWh)	1 116. ^{0/}	-	48.084	-	22.729	73.225	-	-	-
Eficiencia en generación	33.6 ^{e/}	-	-	-	30.8	30.8	30.8	-	-

1/ Incluye líquidos del gas.

2/ Equivalente de electricidad en términos de energía.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

- M. I. Alfredo Hernández, Tesis de Grado.
Aprovechamiento energético de bagazo de caña, 1987.
- Burghardt David M., Ingeniería Termodinámica.
Editorial Harla, 1984.
- 1er. Conferencia Internacional sobre:
Alta eficiencia en la industria azucarera, Mantenimiento y Explotación,
La Habana, Cuba. 1986.
- Donald Q. Kern, Procesos de Transferencia de Calor,
Editorial Continental, 1981.
- Geankoplis J. Christie, Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias,
Editorial CECSA, 1982.
- Hugot, Manual para Ingenieros Azucareros.
Editorial CECSA, 1984.
- Informe de Labores 1985-1986, Azúcar, S.A.
- Manual Azucarero Mexicano, 1987.
- Manual de Procedimientos para el Uso Eficiente de Energía en la Industria y el Comercio,
Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, 1977.
- Manual de Técnicos Azucareros Cubanos, 1980.
- Manuel Viejo Zubizaray, Bombas, Teoría, Diseño y Aplicaciones,
Editorial LIMUSA, 1983.
- Mitchell Wilson, Energía. Editorial Time-Life, 1969.
- Oscar M. Guzmán, Uso Eficiente y Conservación de Energía en México,
Editorial Colegio de México, 1985.
- Ozisik, Transferencia de Calor, McGraw Hill, 1983.

- Programa de Ahorro y Uso Eficiente de Energía en la Industria Azucarera. SEMIP-Azúcar, S.A., 1986-1988.
- Programa Nacional Energético 84-88, Poder Ejecutivo Federal, SEMIP.
- Programa Universitario de Energía, Uso Eficiente y Conservación de la Energía I . UNAM. 1982.
- Reynolds, Ingeniería Termodinámica, Editorial McGraw Hill, 1983.
- Robert Stobargh, Energía del Futuro, Editorial CECSA, 1984.
- R. Vivas A., Determinación del Espesor Optimo de Aislantes Térmicos para Equipo y Tubería, I.M.P., 1985.
- Severns, Energía Mediante Vapor, Aire o Gas., Editorial Reverté, 1980.